

EVALUACIÓN DE LA TRATABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL DEL DESMANE Y
LAVADO DEL BANANO, UTILIZANDO UN FLOCULADOR VERTICAL POROSO
A ESCALA LABORATORIO.

CHRISTYAN JOVAN MEYER NOGUERA
CAROLINA ESTER OWEN JACQUIN

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
SANTA MARTA
2008.



**EVALUACIÓN DE LA TRATABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL DEL DESMANE Y
LAVADO DEL BANANO, UTILIZANDO UN FLOCULADOR VERTICAL POROSO
A ESCALA LABORATORIO.**

**CHRISTYAN JOVAN MEYER NOGUERA
CAROLINA ESTER OWEN JACQUIN**

Proyecto de Investigación presentado al comité de memoria de grado, para optar
al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

FAISAL BERNAL HIGUITA
Ingeniero Químico
Director.

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
SANTA MARTA
2008.**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Santa Marta Noviembre de 2008.

CONTENIDO

PRESENTACION	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2. ESTADO DE DESARROLLO O ANTECEDENTES	14
3. MARCO TEORICO CONCEPTUAL	18
4. JUSTIFICACIÓN	23
5. OBJETIVOS	24
5.1. OBJETIVO GENERAL.....	24
5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	24
6. DISEÑO METODOLOGICO	25
6.1. Identificación y análisis de las principales Características fisicoquímicas de la fuente de agua superficial (Río Frío) que abastece las piscinas para el proceso de empaque del banano.....	26
6.1.1 Toma de muestra	26
6.1.2 Análisis de laboratorio	26
6.2. Implementación de metodologías experimentales que permitan caracterizar el efluente de agua servida proveniente de las piscinas de desmane y lavado del banano.	26
6.2.1 Toma de muestras simples	26
6.2.2 Análisis de laboratorio	27
6.2.3 Resultados de laboratorio.....	28

6.3. Determinación de la eficiencia del floculador vertical poroso	29
6.3.1 Diseño del floculador vertical poroso.....	29
6.3.2 Construcción a escala laboratorio de floculador vertical poroso.....	29
6.3.3. Resultados	29
6.4. Búsqueda y revisión bibliográfica	30
6.5. Divulgación de los resultados arrojados por la investigación.	30
7. LIMITACIONES	31
7.1. Escasez de bibliografía	31
7.2. Consecución de material granular (piedras).....	31
7.3. Transporte de materiales.....	31
7.4. Cruce de horario laboral con días de muestreo en fase de campo	32
7.5. Préstamo de equipos	32
7.6. Falta de información.....	32
8. DESARROLLO DEL PROYECTO	33
8.1. Cronograma de Actividades	33
8.2. Diseño de la unidad.....	34
8.3. Resultados de análisis de calidad del afluente de las piscinas de desmane y lavado del banano.....	37
8.4. Resultados de análisis de laboratorio, afluente y efluente del floculador vertical poroso	38
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
10. CONCLUSIONES.....	58

12. RECOMENDACIONES	59
13. PRESUPUESTO	60
14. BIBLIOGRAFÍA	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 .Descripción de valores de factor de forma y	22
porosidad estándar de lechos granulares.	22
Tabla 2. Parámetros medidos In Situ	27
Tabla 3. Parámetros medidos Ex Situ	28
Tabla 4. Cronograma de Actividades	34
Tabla 5. Características Agua de abastecimiento de las piscinas.....	38
Tabla 6. Características afluente y efluente del floculador	39
Tabla 7. Características afluente y efluente del floculador	40
Tabla 8. Características afluente y efluente del floculador	41
Tabla 9. Características afluente y efluente del floculador	42
Tabla 10. Características afluente y efluente del floculador	43
Tabla 11. Características afluente y efluente del floculador	44
Tabla 12. Características afluente y efluente del floculador	45
Tabla 13. Características afluente y efluente del floculador	46

LISTA DE FIGURAS Y GRAFICAS

Figura 1. Floculador vertical poroso de flujo ascendente.	20
Grafica 1. Comportamiento de temperatura con respecto a los tiempos de retención hidráulica	47
Grafica 2. Comportamiento de OD con respecto a los tiempos de retención hidráulica.....	48
Grafica 3. Variación de conductividad con respecto a los tiempos de retención hidráulica.....	49
Grafica 4. Variación del pH con respecto a los tiempos de retención hidráulica .	50
Grafica 5 . Variación de la turbiedad con respecto a los tiempos de retención	51

ANEXOS

Anexo A Procedimientos utilizados para análisis de laboratorio.....	69
Anexo B Ficha tecnica coagulante utilizado	93
Anexo C Fotos	95

AGRADECIMIENTOS

- A mis padres y hermano, por todo el apoyo, sacrificio, impulso y dedicación brindada todos estos años, por sus sabios consejos y por brindarme la mejor educación convirtiéndome en un hombre integro, lleno de valores y calidad humana.
- A mis tíos, Alina, Bertilda, Ana y Hernando, quienes nunca dudaron en prestarme su colaboración cuando lo necesitaba.
- A mis amigos, por convertirse en un motor más en mi vida, impulsándome todos los días para lograr mis más ardientes deseos.
- A Leonardo Bueno Russel, Ingeniero Agrónomo. Más que un asesor del trabajo de investigación se convirtió en un amigo, quien no escatimo esfuerzos y mucho menos inversión de tiempo para llevar a feliz término este proyecto.
- A la Universidad del Magdalena y al Laboratorio de Calidad de Agua ,Aire y Suelo, por su colaboración logística y de infraestructura, pues sin su ayuda, alcanzar la meta hubiese sido mas difícil.

Christyan Meyer Noguera.

DEDICATORIA

*"Podemos soñar con la condición de no olvidar que... la mayoría
De los sueños son casi siempre mas posibles que la misma realidad"...*

Son palabras que hoy recuerdo con mucha melancolía, al darme cuenta que ese sueño que inicio hace algunos años atrás hoy es una realidad. Y por que también era parte de tus sueños hoy te dedico a ti

ABUELA este triunfo, que me llena el corazón de alegría por el logro alcanzado, de nostalgia porque ya no estas a mi lado para verme recibir este titulo y de ilusiones porque estoy convencido que desde el cielo me abrirás las puertas de esta nueva etapa de mi vida.

Solo me queda por decirte ¡ GRACIAS !...

Christyan Meyer Noguera.



AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Faisal Bernal Higueta, Ingeniero Químico, Maestro por vida y dedicación. Su tiempo, el tiempo compartido. Es a personas como Ud, que deseamos siempre volver a encontrar en el transcurso de la vida.

Leonardo Bueno Russel, Ingeniero Agrónomo, Que con sus ideales y visiones contagiosas agravan las muchas ganas de vida, al aditamento de la adrenalina en la existencia.

Isac Pertuz, Coordinador de Laboratorio de Calidad de Agua, que con su carisma no permitió la tangente en el transcurso del vago paseo que él mismo encauzo, llevándolo aún sendero lleno de paciencia y transparencia en pensamiento.

Integrantes, finca 'Golondrina Vieja', gracias por colaborarnos en la logística de la puesta en marcha del trabajo de grado, que influyo para la culminación del proyecto.

A todos los docentes del programa de Ingeniería Ambiental que por los pasillos en momentos cortos aportaron todo en el conocimiento.

A las entidades: C.I Banasan S.A . Sociedad Portuaria de Santa Marta, y a nuestros jefes inmediatos quienes nos permitieron en algunos momentos ausentarnos en el trabajo de oficina para continuar con el trabajo de grado.

De nuevo Gracias.

A DIOS, Ser Supremo que has caminado a mi lado siendo la sombra en el sendero y mostrándome la luz para seguir sus designios y no desfallecer ha pesar de las falencias que cada día voy encontrando en el diario vivir.

Gracias, por darme la oportunidad de tener a los mejores padres, esa es la bendición más grande que tengo en mi vida.

Franklin Owen , Mi papito, Hombre de gran corazón, noble que ha sabido enseñarme con sabiduría, su apoyo ha sido siempre incondicional, porque has creído en mi, gracias ha usted este sueño se ha hecho realidad, por eso todos mis triunfos se los dedico.

Nora Jacquin. Mi mamita, Por la dedicación y amor que me das cada día, por esas palabras alicientes y frases celebres que me fueron formando como persona de bien y de servicio a la sociedad.

Ana María, Bertha, Erick, Rafael, Franco. Milena. Mis hermanos, Por contar con su colaboración y apoyo, no olvidemos que la unión hace la fuerza.

Diego Alejandro, Mis sobrino, Grande semilla del mañana, que cada día tiene que ir forjando su camino, por que de él dependen los años venideros, lo quiero mucho.

Bertha Carrillo. Mi Abuelita, Por encomendarme siempre a Papa Dios, siendo el la luz que me guía en mi largo camino de aprendizaje y crecimiento profesional.

A mis compañeros de estudio: Viviana Silva, por todos lo momentos compartidos, por las enseñanzas colectivas, tus recuerdos que darán perpetuos con el tiempo.

Carolina Owen Jacquin.

PRESENTACION

Los productos agrícolas de Colombia son una de las mejores muestras de la riqueza de nuestro país en el exterior, de ahí que estos sean exportados a diversas partes del mundo con una aceptación favorable en comparación con productos de otros países de centro y sur América; entre estos destacamos el café, las flores y el banano los cuales llevan la vanguardia en calidad y producción. Este ultimo, el banano es el principal objeto de nuestra investigación, pues el proyecto pretende que una vez utilizada el agua en los cultivos de banano para el desmane y lavado de los racimos esta sea devuelta a la fuente de donde se capto, a otro cuerpo de agua, o al suelo para el riego agrícola teniendo en cuenta que esta reciba un tratamiento previo que garantice que los niveles de carga orgánica del vertimiento no causen contaminación al medio.

La legislación nacional vigente (Decreto 1594 de 1984), para usos del agua y residuos líquidos, establece niveles máximos en cuanto al porcentaje (%) de carga orgánica que pueda contener el efluente y que posteriormente pueda ser objeto de vertimiento, debido a que este tipo de aguas posee gran cantidad de sólidos suspendidos y/o sedimentables (látex) producto del corte de la corona. De ahí que esta unidad de floculación que ya ha sido probada, anteriormente para otro tipo de aguas agrícolas en países como Brasil, India, Francia y Estados Unidos, se convierte en una alternativa viable, en términos de eficiencia y costos económicos para los pequeños y grandes productores de banano en el país, principalmente en las regiones del Uraba Antioqueño y el departamento del Magdalena.

Para efectos del estudio se tuvo en cuenta el agua residual generada en cada una de las actividades que se llevan a cabo en torno al proceso de empaque del banano, como son el desmane y lavado de la fruta cuando llega de la cosecha y antes de ser transportado para su exportación; a manera de descripción, el proceso de empaque inicia en el tanque o piscina de desmane en donde son colocadas las manos que son cortadas del racimo; estas se trasladan por flotación en la corriente producida por la entrada y salida constante del agua, aquí se agrega una sustancia coagulante (Sparfloc) que hace descender una gran cantidad del látex al fondo de la piscina y de esta forma evita que la fruta sea manchada y posteriormente rechazada en el mercado internacional. Durante ese recorrido las manos emanan látex debido al corte producido al momento de despegarlos del racimo y también se lavan del polvo acumulado del campo. El recorrido de las manos en este tanque es aproximadamente de 5 minutos. Al llegar al otro extremo son procesadas por las saneadoras y colocadas en los

tanques de lavado (desleche) en forma de gajos o clusters, por lo cual continúan emanando látex.

Durante el proceso del corte del racimo se genera látex, corona y dedos que son drenados en ambos tanques a la trampa de sólidos y en la cual se separan del efluente líquido por medio de rejillas.

La técnica planteada en el presente proyecto, consiste en el diseño y operación de un floculador vertical poroso a escala de laboratorio que permite realizar un tratamiento previo al vertimiento del agua y luego determinar la eficiencia de esta unidad hidráulica. Para efectos del desarrollo de la fase de campo, el floculador fue ubicado en la hacienda "GOLONDRINA VIEJA" localizada en el corregimiento de Orihueca, del municipio Zona Bananera en el departamento del Magdalena.

Con los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación se pretende demostrar que esta técnica no convencional para el tratamiento del agua residual de los cultivos de fincas bananeras, se convierte en una alternativa capaz de suplir las necesidades de tratamiento de este tipo de agua, además de contribuir con las políticas de desarrollo sostenible en el país, con respecto al uso adecuado de los recursos naturales.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El impacto ambiental altamente negativo, el aumento de la carga orgánica, la desestabilización de los ecosistemas acuáticos, la disminución en el oxígeno disuelto entre otras, son consecuencias de contaminación de los ríos que se encuentran en las zonas de influencia al verter agua residual de los cultivos bananeros con presencia de sólidos sedimentables.

Colombia ocupa el puesto once a nivel mundial dentro de la producción de banano con una participación del 2.2%. La producción ha permanecido constante entre 1995 y 2007, con cerca de 1.5 millones de toneladas por año. Colombia cosechaba en 1970 17.600 hectáreas de banano, a comienzos de la década del 90 el área cultivada era de 32.400 y hoy son utilizadas 44 mil hectáreas para el cultivo del banano de exportación; lo que significa un aumento de dos veces y media en el área destinada a la producción de esta fruta, hecho similar y paralelo al de la caña de azúcar. Ambos productos han hecho presencia en la oferta nacional por muchos años, pero en los años noventa vuelven a tener relevancia, en el caso del banano, por el dinamismo de Urabá, en donde renació la producción bananera colombiana por sus ventajas fitosanitarias y por la ausencia de huracanes. Consecuentemente con lo descrito antes, las grandes empresas bananeras analizadas están situadas en el departamento de Antioquia, más exactamente en la región de Urabá: 39 de ellas poseen el 90.63% de los activos, y generaron el 92.51% de los ingresos del primer trimestre del año 2007. Las cuatro sociedades del Magdalena convierten al departamento en el segundo vendedor de banano, con una participación del 3.14% de los ingresos. Las empresas de Bogotá, Atlántico y Valle, contribuyen con una participación muy baja en el mercado de este producto¹.

De esta forma el Departamento del Magdalena se perfila como uno de los principales productores de banano en la Región Caribe y del país, obteniendo así el segundo lugar en producción después del Uraba Antioqueño, por esto se hace importante el cuidado de la calidad de aguas servidas de las fincas donde se encuentran estas plantaciones.

Por otro lado los medianos y grandes productores de banano deben asumir una serie de reglamentos técnicos, en los cuales se encuentra inmersa la normativa de vertimientos de aguas residuales de cultivos de frutas que exige a estas empresas

¹ (Sector banano en Colombia – Marzo 2007 Dr. RODOLFO DANIES LACOUTURE).

un tratamiento previo al momento de disponerlas en los cuerpos superficiales de agua; estas normas deben ser cumplidas al solicitar algún tipo de certificación por calidad, necesarias para legalizar procesos de exportación del producto.

Hasta el momento no se han probado técnicas alternativas no convencionales que permitan un tratamiento eficiente para remover los sólidos suspendidos (látex) que se encuentran en el agua residual del banano, producto de las empacadoras de la fruta ubicadas en la zona bananera y municipios aledaños al distrito de Santa Marta, resultando así pertinente la aplicación del floculador vertical poroso para la remoción de sólidos sedimentables (látex), específicamente en la Hacienda "Golondrina vieja". Agregando a esto que no existen cifras que cuantifiquen la contaminación, generada por los vertimientos de agua residual a los cuerpos de agua consideramos pertinente el desarrollo de esta investigación basándonos en las cifras de producción de banano en el departamento del Magdalena, ya que al procesar bananos es inminente la generación de aguas residuales con un alto contenido de carga orgánica y su posterior vertimiento, en la mayoría de los casos a los ríos aledaños a las empacadoras.

La descarga de aguas residuales de los cultivos de banano sin ningún tratamiento previo a los cuerpos de agua, ocasiona contaminación, principalmente por sólidos y químicos, formando esto una serie de cambios en la naturaleza física y química, que la hacen no apta para beber, regar, limpiar y suplir los requerimientos de los organismos que habitan en ella; así mismo el proceso de autodepuración se hace mucho mas lento a causa de este proceso.

Es costumbre de las fincas productoras verter los residuos líquidos sin tratamiento al cuerpo de agua superficial mas cercano, no se han dado a la tarea de investigar nuevas alternativas para el tratamiento de sus aguas, pues para ellos no resulta viable económicamente y sus prioridades quizá sean otras, consecuencia de lo anterior, se presenta una falta de "conciencia ambiental" por parte de los productores agrícolas.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado surge el interrogante ***¿Qué tan eficiente resulta el tratamiento de aguas residuales del desmane y lavado del banano, para la remoción de sólidos suspendidos y sedimentables (látex) por medio de un floculador vertical poroso a escala laboratorio?***

2. ESTADO DE DESARROLLO O ANTECEDENTES

La gran densidad de población que se encuentra actualmente en el planeta necesita que el agua, suministrada para su consumo sea de óptima calidad con el fin de evitar al máximo cualquier tipo de patologías causadas por el inadecuado tratamiento del agua. De acuerdo a lo anteriormente planteado, el proceso de floculación, se realiza con el principal objetivo de retirar los sólidos sedimentables, una vez haya terminado el proceso fisicoquímico (floculación), agregando además que es usado para el tratamiento de agua potable, gracias a su eficiencia; característica que de una u otra forma nos motiva a realizar una investigación enmarcada en la aplicación de un proceso de floculación, pero ya no para el tratamiento de agua potable, sino por el contrario para el tratamiento de aguas servidas.

La floculación como una ayuda a la sedimentación y filtración, se viene practicando hace siglos, fue durante el siglo XX que se incorporó suficiente conocimiento sobre el proceso, particularmente con los trabajos de Smoluchowski, Camp, Hudson y Kaufman, (*ENOHSA ENTE NACIONAL DE OBRAS HÍDRICAS DE SANEAMIENTO, Fundamentación - Cap. VII - 7 – Floculación*) entre otros, permitiendo el proyecto racional de las unidades de floculación con el desarrollo de la teoría de la cinética de la floculación.

La pertinencia de este proceso, se basa en que la cantidad de sólidos sedimentables que se pueden encontrar en el agua, son capaces de modificar su naturaleza impidiendo que pueda ser utilizada para el consumo en el caso del agua potable, y para las aguas residuales, convirtiéndose en un problema ambiental por no tener soluciones adecuadas para su disposición a causa de la presencia de estos sólidos.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, se dice que este tratamiento en el agua para que resulte efectivo y/o eficaz, se hace necesaria la utilización de ciertos compuestos químicos que actúen de forma conjunta con las estructuras hidráulicas que permitirán la realización del proceso; (*Alves de Souza 2004*), estableció que la utilización de algunos polímeros naturales como auxiliares del tratamiento de la floculación, pueden resultar como una alternativa interesante para aumentar la capacidad de las plantas de tratamiento para el agua potable y/o residual.

(*Alves de Souza 2004*), se refiere además que el polímero utilizado en su investigación, es la "fécula de mandioca o yuca", argumentando que es de fácil

preparación y utilización, además que por ser producido en grandes cantidades y utilizado en muchos sectores de la industria, este polímero se presenta como una alternativa viablemente económica ante los polímeros sintéticos, pues sus costos son muy elevados.

En el caso particular del mismo, durante el desarrollo de su investigación, se encontró con una gran cantidad de plantas de tratamiento en Brasil, en donde la capacidad de producción y la calidad de las aguas eran insatisfactorias, a su parecer; teniendo en cuenta tal situación y esperando suplir la creciente demanda de agua potable que se presentaba en aquel entonces y a la vez manteniendo su calidad, se implementó la creación de nuevas plantas de tratamiento, en las cuales la utilización del polímero natural “fécula de mandioca o yuca”, se hizo evidente de forma inmediata, permitiendo que la producción de agua mantuviera los valores de cantidad, eficiencia y calidad y destacándose por ser un producto alternativo, eficiente y con un muy bajo costo.

El investigador Zousa demostró por medio de sus estudios que la aplicación de un polímero natural en el proceso de floculación para el tratamiento de agua potable resulta muy eficiente, debido a que las concentraciones suministradas al agua, fueron relativamente bajas, si se comparan con los floculantes utilizados anteriormente (sintéticos), y también fue capaz de remover concentraciones mayores de turbidez y color aparente en un menor tiempo.

Por otra parte y teniendo en cuenta otras investigaciones se ha observado que el lodo recién coagulado tiene la propiedad de precipitar partículas en suspensión. Este es el principio que dio origen a los decantadores de flujo vertical con manto de lodos, también denominados clarificadores de contacto o simplemente, clarificador seguido de un nombre o marca de una serie de equipamientos patentados – Circulator, Pulsator, Permujet, Accelerator, etc.

El principio básico es el mismo para todos. Normalmente estas unidades reúnen en un único tanque la floculación y la decantación en flujo vertical. Pueden ser cuadrados, rectangulares o circulares en planta, con el fondo de las paredes verticales o inclinadas.

Los clarificadores en manto de lodos se utilizaron inicialmente en el ablandamiento del agua y con esa finalidad son bastante eficientes, consecuencia de la relativamente elevada densidad del carbonato de calcio precipitado.

En el abatimiento de color y turbiedad con sulfato de aluminio ya no son tan eficientes. La AWWA informa que pocas unidades se consideran moderadamente eficientes, muchas operan bien solamente cerca de la mitad de su capacidad nominal y fracasan cuando se requiere que operen a la capacidad de proyecto, atribuyéndose a una selección inadecuada de parámetros de diseño. En parte eso

puede ser cierto. Sin embargo, en América Latina se debe más a una operación imperfecta por falta de capacitación básica de los operadores, que necesitan un conocimiento más profundo del proceso para un mejor control de las variables de operación.

“Haciendo referencia a los floculadores de piedra, se puede decir que son una alternativa de proyecto simple y barato para pequeñas estaciones de tratamiento. Se probaron en plantas piloto y se aplicaron a diversas instalaciones en la India por Kardile (1981) y en Brasil con desarrollo teórico de Richter (1980) y Kuczynski y Droste (1985). El problema que se verificó en algunas instalaciones consistió en la acumulación de sólidos en los poros, inclusive en arena fina y arcillas, de difícil limpieza. La idea original se llevó a los Estados Unidos (Schulz, 1994) y Francia (Sens, 1992) donde utilizaron materiales flotantes, esferas de porcelana huecas en el primer país e icopor en el segundo, tratando de evitar problemas de limpieza, la que se realiza expandiendo el medio por flotación ayudada con un lavado auxiliar con aire, semejante al de un filtro”. (ENOHSA ENTE NACIONAL DE OBRAS HÍDRICAS DE SANEAMIENTO, *Fundamentación - Cap. VII - 7 – Floculación*)

Las aguas residuales, también necesitan un tratamiento adecuado para su disposición final, pues además de que las corporaciones regionales lo exigen legalmente, se considera justo que preservemos los recursos de los cuales nos estamos abasteciendo; hoy en día los tratamientos para aguas residuales, están compuestos por sistemas que además de elevar los costos económicos para las empresas, tienden casi siempre a ocupar un gran porcentaje de área; nuestra investigación tiene como principal objetivo, la aplicación de una técnica alternativa, no convencional que permita el tratamiento de las aguas residuales del banano, removiendo los sólidos suspendidos y sedimentables (látex) que se encuentran presentes en este tipo de agua, siendo estos útiles ya que no exigen un alto porcentaje de área y además ayuda a la optimización de los costos de inversión.

Resulta pertinente que se realicen investigaciones para rediseñar y lograr eficiencia en la puesta en marcha de los sistemas de tratamientos de efluentes líquidos, ya que al realizar los cálculos de diseño con la disponibilidad actual de acceso a computadores, se presentan resultados eficaces y exactos, logrando así la posibilidad de desarrollar programas de simulación de procesos, (*Petrides et al.*, 2002; *Niño, Pérez Y Llobregat*, 2004), Pero mientras que este tipo de investigaciones se dan, se continuara trabajando en una no tan sofisticada pero con grandes expectativas de que genere un impacto positivo en el vertido de estos residuos líquidos.

En Colombia aun no se ha puesto a prueba este tipo tecnología para el tratamiento de los efluentes de agua residual de los cultivos de banano, sino por el



contrario se emplean tecnologías convencionales, las cuales pueden llegar a emplear tiempos mas prolongados en el tratamiento del liquido, que si lo hiciera una sola unidad hidráulica, además el área de terreno para la construcción de dichas unidades de tratamiento es muy superior al de un floculador vertical poroso.

Algunos autores hacen apuntes precisos en donde señalan que ciertas tecnologías, como la plantas de tratamientos de agua residuales convencionales que también pueden ser aplicadas, no son alternativas viables para los pequeños productores de banano ya que no podrían sostener los altos costos de operación de un proceso como este (*Ritchie, 2001; Soto, Miranda, Sosa y Loredó, 2006*). Deduciendo de esta forma que en la actualidad resulta muy eficiente la utilización de un sistema de tratamiento alternativo, no convencional, que permitiera a las empresas, realizar la separación de contaminantes en sus efluentes (aguas residuales) a un menor costo.

3. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

El objetivo del floculador es proporcionar a la masa de agua coagulada una agitación lenta aplicando velocidades decrecientes, para promover el crecimiento de los flóculos y su conservación, hasta que la suspensión de agua y flóculos salga de la unidad. La energía que produce la agitación del agua puede ser de origen hidráulico o mecánico².

Los primeros floculadores utilizados para tratamiento del agua fueron canales, donde se aprovechaba la energía hidráulica del agua en movimiento para la floculación. De este modo, cualquier dispositivo que utilice la energía hidráulica disipada en el flujo del agua a través de un tanque, canal o canalización, puede utilizarse como floculador hidráulico.

Los floculadores hidráulicos más utilizados han sido los de chicanas, de flujo horizontal o vertical. En los primeros, el agua circula con un movimiento de ida y vuelta y en los segundos, la corriente sube y baja sucesivamente contornando las diversas chicanas.

Otros tipos, tales como el floculador de flujo helicoidal y el denominado "Alabama" han sido utilizados con éxito en pequeñas instalaciones. Además se debe citar el floculador en medio poroso, que tuvo sus primeras aplicaciones en la India y en el Brasil, en la década del 70 y recientemente fue perfeccionado en Francia y en los Estados Unidos.

Las principales deficiencias de los floculadores hidráulicos señaladas en la literatura técnica han sido:

- La falta de flexibilidad para responder a cambios en la calidad del agua.
- La hidráulica y los parámetros de floculación – tiempo de floculación y gradientes de velocidad – son función del caudal y no se regulan independientemente o son de difícil ajuste.
- La pérdida de carga puede ser significativa.
- La limpieza es generalmente difícil.

² HARRIS, H.S.; KAUFMAN, W.J. & KRONE, R.B. orthokinetic flocculation in water purification. Journal of Sanitary engineering Division ASCE, 92 (SA6): 95-11, Dec. 1966.

Por estas razones, los floculadores hidráulicos casi cayeron en desuso, prefiriéndose los tanques de floculación mecánicos. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que la eficiencia de floculadores hidráulicos puede ser superior a la de otros tipos de floculadores, aun con tiempos de floculación relativamente cortos, de 10 ó 15 minutos.

La principal razón de tal circunstancia radica en que, los tanques de floculación mecánica están sujetos a cortocircuitos y zonas muertas, prácticamente inexistentes en los canales de floculación hidráulica.

Teniendo en cuenta algunas investigaciones (*Hudson, H.E*, Jul. 1965) se concluye, que las variables más importantes del proceso de floculación son: la concentración de coagulante, la intensidad de agitación con que la suspensión es mezclada en el tanque de floculación, expresada como gradiente de velocidad y el tiempo de retención.

La cantidad de coagulante requerida para obtener una concentración residual dada de sólidos suspendidos después de la floculación y sedimentación, es una función de numerosos factores que incluyen: características químicas del agua, tipo y concentración de las partículas suspendidas, duración e intensidad de la agitación, entre otros factores³.

La floculación es ortocinética y pericinetica, siendo la primera producida por la energía transmitida al agua por fuerzas externas (energía mecánica y/o hidráulica), y la segunda, por el movimiento normal de las partículas (movimiento Browniano y gravedad)⁴.

Las consideraciones anteriormente expuestas hacen referencia a técnicas para tratamientos de agua potable con sistemas convencionales, lo cual no aplica directamente y con eficacia al tratamiento de agua residual y sistemas recientemente probados.

Una alternativa novedosa para el tratamiento de agua potable y residual, se basa en la floculación con ayuda de medios porosos o granulares, los cuales son aquellos formados por un cierto número de objetos macroscópicos (llamados

³ ARGAMAN, Y & KAUFMAN, W.J. turbulence and flocculation. Journal Environmental Engineering Division ASCE, 96(SA2). 223-241, Apr. 1970

⁴ PARKER, D.S., KAUFMAN, W.J. & JENKIS, D., floc breakup in turbulent flocculation processes. Journal environmental Engineering Division ASCE, 98 (SA1): 79-99, Feb. 1972.

granos) que interaccionan por medio de contactos temporales o permanentes, aumentando de esta forma la eficiencia de las unidades⁵.

La floculación en medio poroso o por contacto consiste en pasar el agua, luego de haber recibido el coagulante, a través de un medio granular contenido en un tanque, generalmente de flujo ascendente (**Figura 1**).

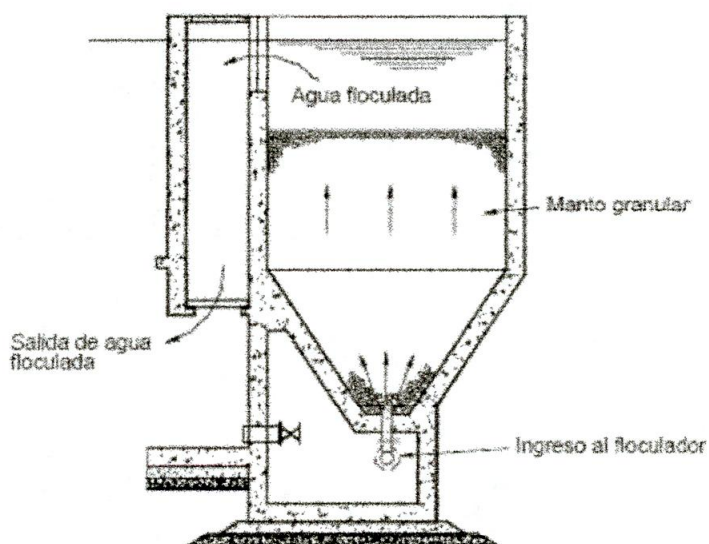


Figura 1. Floculador vertical poroso de flujo ascendente⁶.

La floculación en medio granular ha sido recientemente estudiada con cierta profundidad en América Latina, en colaboración con el CEPIS/OPS y ya es aplicada con éxito en algunas instalaciones. El flujo normalmente es laminar y la eficiencia es extraordinaria. Puede flocular satisfactoriamente en pocos minutos.

Como material granular, para el diseño del floculador se pueden utilizar; piedras, bolitas de plástico, residuos de las fábricas de plástico, segmentos de tubos o cualquier otro tipo de material similar no putrescible ni contaminante. Algunos

⁵ RICHTER, CARLOS. CEPIS, Projetos de estações de tratamento de água. Módulo 4.4. Projetos de unidades de floculação. Lima, CEPIS, 1981

⁶ LIMA, CEPIS/OPS, Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua. Serie Técnica 13. Lima, CEPIS/OPS, 1966.

estudios realizados hasta el momento solo permiten diseñar estos floculadores con piedra de 1/2" a 3/4" (diámetro medio = 15,9mm). Investigaciones asesoradas por el CEPIS/OPS con piedras de tamaño mayor indican que no se puede lograr todo el rango de gradientes de velocidad para floculación variando el diámetro equivalente de las piedras u otro material similar, a partir del estado actual del conocimiento, se recomienda diseñar esta unidad con flujo ascendente y forma tronco-cónica (**Figura 1**), a fin de escalonar los gradientes de velocidad, manteniendo el tamaño del material constante para facilitar la limpieza, en este tipo de unidades, el tiempo de retención total es de apenas 5 a 10 min.

Se distinguen dos tipos básicos: floculación en un medio poroso fijo (o floculación en medio granular) y floculación en un medio poroso expandido (floculación en lechos de arena expandida). Ambos fueron utilizados inicialmente en la India. La floculación en medio granular ha sido recientemente estudiada con cierta profundidad en América Latina, en colaboración con el CEPIS/OPS y ya es aplicada con éxito en algunas instalaciones. Consiste en hacer pasar el agua, después de haberle aplicado los coagulantes, a través de un medio granular contenido en un tanque o canal. El flujo normalmente es laminar y la eficiencia es extraordinaria. Puede flocular satisfactoriamente en pocos minutos. (*Canepa de Vargas, L. 1986*).

Los floculadores de piedras son relativamente nuevos, habiendo sido construidas plantas pilotos para su investigación en Brasil y Colombia. En el país existe una planta de tratamiento para agua potable, con un floculador de piedras en forma de pirámide trunca invertida y con flujo ascendente, localizada en el municipio de el Retiro, Antioquia.

Con base en las experiencias realizadas en la universidad nacional, se considera este tipo de floculación como una verdadera solución con tecnología apropiada, mas que todo para pequeñas comunidades⁷.

Algunos de los principales factores que influyen en la eficiencia del proceso de floculación son:

La naturaleza del agua: La coagulación y, por consiguiente, la floculación son extremadamente sensibles a las características fisicoquímicas del agua cruda, tales como la alcalinidad, el pH y la turbiedad. Algunos iones presentes en el agua pueden influir en el equilibrio fisicoquímico del sistema, en la generación de cadenas poliméricas de los hidróxidos que se forman o en la interacción de estos polímeros con las partículas coloidales, lo que afectará el tiempo de floculación.

⁷ SNEL, H. Y JORGE ARBOLEDA. Influencia de la escala de turbulencia en el proceso de floculación del agua. Cali, ACODAL, 1982

Influencia de la variación del caudal: Es conocido que al variarse el caudal de operación de la planta, se modifican los tiempos de residencia y gradientes de velocidad en los reactores. El floculador hidráulico es algo flexible a estas variaciones. Al disminuir el caudal, aumenta el tiempo de retención y disminuye el gradiente de velocidad. Al aumentar el caudal, el tiempo de retención disminuye, el gradiente de velocidad se incrementa y viceversa; el número de Camp (N_c) varía en aproximadamente 20% cuando la variación del caudal es de 50%. (Hanson A. T. y Cleasby J.L. Nov. 1990.)

En general, se puede considerar que un lecho poroso está constituido por un conjunto de partículas sólidas, de forma regular o variable, dispuestas ordenadamente o al azar en un recipiente, de modo tal que a través de los espacios libres que quedan entre las partículas circula una corriente fluida. Del lecho interesa conocer su longitud, su diámetro y su porosidad, (relación entre el volumen hueco, existente en el lecho y el volumen total del lecho). En la industria se suelen utilizar partículas sólidas que proporcionan el mayor área posible de contacto entre las fases, para un determinado volumen de partícula, de ahí que tengan las formas mas diversas y que se caractericen mediante su diámetro equivalente y un factor de forma, que representa la relación existente entre la superficie de una esfera de igual volumen de la partícula y la superficie real de la misma (esfericidad). A continuación se presentan los valores de factor de forma y porosidad dependiente del tipo de lecho granular.

Descripción	Factor de forma (ψ)	Porosidad estándar (e)
Esférica	1.00	0.38
Redondeada	0.98	0.38
Gastada	0.94	0.39
Afilada	0.81	0.40
Angular	0.78	0.43
Aplastada	0.70	0.48

Tabla 1 .Descripción de valores de factor de forma y porosidad estándar de lechos granulares.⁸

⁸CEPIS/OPS. Criterios de diseño de plantas de tratamiento de agua. Lima, CEPIS/OPS, s. f. 1983

4. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de la presente investigación se fundamenta principalmente en el hecho de que hasta el momento no se han probado técnicas alternativas no convencionales que permitan un tratamiento eficiente para remover los sólidos suspendidos y/o sedimentables (látex) que se encuentran en el agua residual del desmane y lavado del banano, producto de las empacadoras de la fruta ubicadas en el municipio Zona Bananera del departamento del Magdalena y algunos otros municipios aledaños al distrito de Santa Marta, resultando de esta forma pertinente la aplicación del floculador vertical poroso para la remoción de sólidos suspendidos y/o sedimentables (látex), específicamente en la Hacienda "Golondrina vieja", ubicada en el corregimiento Orihueca, Municipio Zona Bananera, departamento del Magdalena.

Agregando a lo anterior que no existen cifras que cuantifiquen el grado de contaminación ambiental, generada por los vertimientos de agua residual a los cuerpos de agua, consideramos pertinente el desarrollo de esta investigación basándonos en las cifras de producción de banano en el departamento del Magdalena, ya que al procesar y empacar la fruta para su exportación es inminente la generación de residuos líquidos con un alto contenido de carga orgánica y su posterior vertimiento, en la mayoría de los casos a los ríos aledaños a las empacadoras.

Por otra parte se perciben los beneficios económicos para los grandes, medianos y principalmente los pequeños productores de banano, en cuanto a la adopción de esta nueva técnica en las haciendas y áreas donde posean cultivos, lo cual les permitiría minimizar y optimizar el área dispuesta para la construcción y operación de plantas de tratamiento convencionales, además la reducción de los costos de las tasas retributivas que deben ser canceladas en razón del porcentaje de carga orgánica en los vertimientos líquidos realizados.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la tratabilidad de los sólidos suspendidos y/o sedimentables (Látex) presente en las aguas residuales del desmane y lavado del banano, utilizando un floculador vertical poroso a escala laboratorio.

5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar y analizar las principales Características fisicoquímicas de la fuente de agua superficial (Río Frío) que abastece las piscinas para el proceso de empaque del banano.
- Implementar metodologías experimentales que permitan caracterizar el efluente de agua servida proveniente de las piscinas de desmane y lavado del banano.
- Determinar la eficiencia de un floculador vertical poroso, para la remoción del látex contenido en el agua residual de los procesos de desmane y lavado, durante una jornada de empaque de banano.

6. DISEÑO METODOLOGICO

El estudio experimental se llevó a cabo en tres etapas: La caracterización físico-química de los afluentes y efluentes líquidos, con el fin de evaluar la calidad de los mismos; luego se valoró el grado de tratabilidad a escala de laboratorio para determinar si el efluente es susceptible de ser tratado adecuadamente por medio del proceso de floculación a través del paso de flujo por un lecho poroso y finalmente, se realizó el análisis y tratamiento de los datos registrados.

El sistema utilizado para el estudio está compuesto por un Floculador poroso de flujo vertical, un tanque elevado, un tanque para decantación y un conjunto de accesorios para regular el caudal y toma de muestras.

El sistema fue construido en las áreas, próximas a los canales efluentes de las piscinas de desmane y lavado del banano y se trabajó con un floculador vertical poroso, hecho en polietileno de alta densidad de 0.80 m de alto por 0.40 m de diámetro, con una capacidad volumétrica de 55 Lt.

El floculador se alimenta por gravedad desde el tanque elevado a través de una llave, la cual entra por la parte superior del floculador, formando así un flujo descendente. Este floculador posee espacios vacíos en toda su longitud lo cual permite la distribución del afluente a todo lo ancho de la unidad hidráulica; el efluente fue dispuesto por gravedad a un tanque de decantación, en donde se tomaron las muestras de agua para su posterior análisis.

Consideramos en primer lugar el inicio de la alimentación del floculador con el efluente del tanque elevado al cual se le aplicó una dosis optima de floculante que permitió la coagulación de lo sólidos suspendidos y sedimentables (látex); para el ensayo se utilizó el floculante de origen químico, "Sparfloc", liquido de alto rendimiento y eficiencia.

Se tiene en cuenta que el agua del afluente del floculador es proveniente de las piscinas de desmane y lavado en la que se les aplica un porcentaje de Sparfloc con una relación de 1:8, por medio de goteo, permitiendo de esta forma la fijación de partículas en coágulos para que luego se precipiten al fondo de la piscina, disminuyendo así el volumen de sólidos que van a pasar a la unidad hidráulica de floculación.

En lo referente al tamaño de la piedra, algunos investigadores (O'Brien, 1979) recomiendan para clima cálido piedra entre 0,025 y 0,127 m de diámetro. Para el estudio se escogió piedra de $1\frac{1}{2}$ ", 1" y $\frac{1}{2}$ " de diámetro, formando de esta forma un



lecho mixto, en donde cada lecho de piedra alcanza una altura de 0.10m, 0.15m y 0.20m respectivamente permitiendo un borde libre al floculador de aproximadamente 0.20 m una altura.

Teniendo en cuenta las anteriores generalidades, se identifican a continuación los pasos que se siguieron en la etapa experimental del proyecto, teniendo en cuenta los objetivos planteados dentro del mismo.

6.1. Identificación y análisis de las principales Características fisicoquímicas de la fuente de agua superficial (Río Frío) que abastece las piscinas para el proceso de empaque del banano.

6.1.1 Toma de muestra

La metodología utilizada, es la toma de muestra simple, para los respectivos análisis físico-químicos de la fuente; el agua a evaluar se tomo de la tubería que conduce el afluente hasta la piscina de lavado, luego se almacenó en un recipiente plásticos y se procedió a conducirla al laboratorio de calidad de agua para realizar los respectivos análisis, que determinaron en grado de calidad de la fuente de abastecimiento. Para efectos de esta caracterización se realizó una sola muestra.

6.1.2 Análisis de laboratorio

Se realizaron análisis microbiológicos y físico-químicos que permitieron determinar la calidad de la fuente de abastecimiento del agua para el proceso de empaque del banano, cuyos resultados se observan en el desarrollo de la presente investigación.

6.2. Implementación de metodologías experimentales que permitan caracterizar el efluente de agua servida proveniente de las piscinas de desmane y lavado del banano.

6.2.1 Toma de muestras simples

El agua residual que se utilizo para los ensayos se obtuvo de la hacienda bananera "Golondrina Vieja" ubicada en el corregimiento de Orihueca, Zona Bananera, departamento del Magdalena. Al momento de la toma de muestras, los puntos de recolección, fueron el canal del efluente de las piscinas luego de someter las manos del racimo de banano al proceso de desmane y lavado y un segundo punto ubicado en la salida del floculador; para el estudio se tomaron muestras simples en recipientes de plástico con su respectiva tapa y con una

capacidad de almacenamiento aproximadamente de 1 litro, utilizando tiempos de retención de 5, 8 y 12 minutos respectivamente.

Se realizaron las mediciones in situ correspondientes (caudal, temperatura, OD, pH); la fase de campo o toma de muestras se ejecutó durante 2 meses consecutivos cada 8 días, coincidiendo así con los días de corte y empaque de banano para luego efectuar los análisis de laboratorio, y de esta forma establecer diferencias en las concentraciones de los parámetros físico – químicos medidos tanto en el efluente de la planta de tratamiento de la hacienda, como en el efluente del floculador vertical poroso y los cuales son causados por la variación de producción de banano.

6.2.2 Análisis de laboratorio

Los siguientes parámetros se analizaron in situ, con metodologías simples pero fiables., se uso oxímetro, pH metro y termómetro.

PARAMETRO	METODOLOGIA APHA-AWWA-WPCF METODOS NORMALIZADOS
Caudal	
Temperatura	Potenciometrico. Métodos normalizados AWWA. Wtw 315 set.
OD	Potenciometrico oxi wtw 315 set.
PH	Método potenciometrico. Métodos normalizados AWWA. pH wtw 197

Tabla 2. Parámetros medidos In Situ

Los demás parámetros fueron medidos y analizados en el laboratorio de calidad de agua.

PARAMETRO	METODOLOGIA APHA-AWWA-WPCF METODOS NORMALIZADOS
Conductividad	2510 B
Turbidez	2130 B
Color Verdadero	2120 C

PARAMETRO	METODOLOGIA APHA-AWWA-WPCF METODOS NORMALIZADOS
Color Aparente	2120 B
Sólidos Sedimentables	2230 D
Sólidos Suspendidos Totales	2540 D
Sólidos Suspendidos Fijos	2545 D
Sólidos Suspendidos Volátiles	2570 D
Nitrógeno	4500-NH ₃ E
Demanda Química De Oxígeno	ROQ 5210 B
Demanda Biológica De Oxígeno	ROB 5210 B

Tabla 3. Parámetros medidos Ex Situ

6.2.3 Resultados de laboratorio

Se realiza una comparación de los datos obtenidos de los análisis físico-químicos de las muestras de agua, con la normatividad vigente, para el tratamiento y vertimiento de agua residuales (Decreto 1594/84); de esta forma se podrá determinar la calidad del agua que va a ser objeto del tratamiento.

Teniendo en cuenta los resultados arrojados por los análisis de laboratorio, se aplicaran métodos estadísticos (distribuciones de frecuencias), tomando los diferentes parámetros y el número de datos recogidos, con el fin de determinar el comportamiento de los diferentes aspectos físico-químicos que se analizaran en el desarrollo del proyecto. En esta etapa se tendrán en cuenta las condiciones climáticas de la zona durante el periodo de toma de muestras, debido a que pueden tener influencia en los resultados finales de los análisis físico-químicos.

En esta etapa además se tendrá en cuenta los resultados de los análisis tanto de la planta de tratamiento con que cuenta la hacienda, como los del floculador, para luego al comparar los resultados de ambos, tener la posibilidad de determinar el porcentaje (%) de eficiencia de la unidad.

6.3. Determinación de la eficiencia del floculador vertical poroso, para la remoción del látex contenido en el agua residual de los procesos de desmane y lavado, durante una jornada de empaque de banano.

6.3.1 Diseño del floculador vertical poroso, por medio de las ecuaciones matemáticas; el diseño se realizó durante un tiempo aproximado de dos semanas, teniendo en cuenta los resultados arrojados por los análisis del laboratorio.

6.3.2 Construcción a escala laboratorio de floculador vertical poroso; Montaje que se realizó en las instalaciones de la hacienda "Golondrina Vieja", y para el cual se empleó un tiempo de 2 semanas.

6.3.2.1. Compra de materiales

- * Recipiente plástico con capacidad de almacenamiento de 55 lt.
- * Grava seleccionada (piedras redondeadas de 1½", 1" y ½" de diámetro).
- * Válvula de compuerta
- * 2 Tanques de 20 litros
- * Coagulante "Sparfloc"
- * Probeta de 100 ml

6.3.2.2. Transporte de materiales hasta la hacienda y acondicionamiento de válvulas y demás accesorios a los tanques.

6.3.2.3. Montaje de la unidad de tratamiento y puesta en marcha de la etapa experimental.

6.3.3. Resultados

Puesta en marcha del floculador vertical poroso a escala laboratorio, y verificación de la calidad del agua del efluente, mediante análisis de laboratorio, durante los dos meses siguientes a la etapa de su construcción, los cuales se realizaron de forma consecutiva cada 8 días.

6.4. Búsqueda y revisión bibliográfica

Durante todo el proceso de la investigación se recopiló información que permitió la formación intelectual para el desarrollo del proyecto, utilizando los siguientes recursos:

- Docentes especializados en el área, vinculados con la universidad del Magdalena
- Base de datos.
- Revistas científicas virtuales
- Textos relacionados con la floculación y tratamiento de aguas.
- Investigaciones similares
- Asesorías de profesionales externos a la universidad especializados en la producción agrícola

6.5. Divulgación de los resultados arrojados por la investigación.

6.5.1. Una vez finalizada la investigación y analizadas las conclusiones de la misma, se procedió a la divulgación de los resultados principalmente en el área de influencia donde se desarrollo el proyecto, es decir, con los productores bananeros del área, además de las comercializadoras internacionales a las que aplican normas de calidad para exportación de productos agrícolas, como Globalgap en la cual se encuentran inmersos requisitos de cuidado y conservación al medio ambiente.

6.5.2. Se elaboro un artículo científico, con el fin de divulgar a nivel local, nacional e internacional, la evaluación de la técnica aplicada en la investigación, la cual es pionera en el tratamiento de aguas residuales de cultivos bananeros.

7. LIMITACIONES

7.1. Escasez de bibliografía

La búsqueda de revisión bibliográfica para el desarrollo de un trabajo de investigación, es quizá el paso más importante dentro del mismo, debido a los aportes que puede brindar para la consecución de los objetivos planteados. Esta debe ser una fuente de información para el trabajo, además debe ser pertinente, suficiente y actualizada.

En este orden de ideas, la búsqueda de referencias bibliográficas para la presente investigación se convirtió en un trabajo dispendioso, teniendo en cuenta que la tecnología planteada, es una técnica no convencional probada solo en algunos países del mundo, y nunca para aguas residuales producto de los procesos bananeros, es decir, que encontrar investigaciones similares o que brindaran un derrotero para el presente trabajo fue una labor ardua y a la cual se le invirtió una gran cantidad de tiempo.

7.2. Consecución de material granular (piedras) para la construcción del floculador

El diseño de la investigación está basado en la utilización de grava o piedra seleccionada de diferentes diámetros con el fin de formar un gran número de cámaras que permitan el paso del agua, pero que a la vez aumente la eficiencia de la unidad. En el mercado, este tipo de materiales (grava seleccionada redonda), fue casi imposible de encontrar debido a que no es un material de uso común, sin embargo luego de realizar la búsqueda en varios lugares, tuvimos la oportunidad de contactarnos con una persona en el corregimiento de Rio Frio, en la Zona Bananera del departamento del Magdalena, quien se dedicaba a la venta de este tipo de material, y fue así como se logro conseguir el lecho para la unidad de floculación.

7.3. Transporte de materiales hasta el lugar de ejecución de la fase de campo

Los costos del transporte del material granular desde el lugar donde fue extraído hasta la hacienda en donde se desarrolló la fase de campo del trabajo de investigación, se excedieron un poco de lo presupuestado, de ahí que esta situación se halla convertido en una limitación para el desarrollo del trabajo, pues

se gastó un tiempo valioso, mientras se gestionó un vehículo que transportara el material y que el costo no estuviera por fuera del presupuesto del proyecto.

7.4. Cruce de horario laboral con días de muestreo en fase de campo

Las fechas para toma de muestras, fueron programadas cuidadosamente con el fin de que no interfirieran con las labores diarias de cada uno de los participantes de la investigación; sin embargo la mayoría de salidas al campo interferían con el cumplimiento del horario laboral. Para poder sortear esa situación, debíamos doblar las jornadas de trabajo con el objetivo cumplir con el cronograma planteado en el proyecto y además con las labores en la empresa donde cada uno se desempeña actualmente.

7.5. Préstamo de equipos en el laboratorio de Calidad de Aire, Agua y Suelo

Con respecto a los equipos del Laboratorio de calidad de Aire, Agua y Suelo de la Universidad del Magdalena, en algunas ocasiones se encontraba limitado su uso, debido a la gran cantidad de estudiantes que se encuentran desarrollando trabajos de campo, arrojando como resultado que el préstamo de los mismos fuera restringido.

Esta situación en algunas ocasiones nos obligó a cambiar las fechas programadas para recolectar los datos en campo de nuestra investigación, debido a la falta de equipos.

7.6. Falta de información del coagulante utilizado

Para determinar las dosis óptimas aplicadas al agua residual, antes de hacerla pasar por el lecho poroso, realizamos un ensayo o test de jarras, sin embargo esta se vio limitada por la falta de información con respecto a la concentración del producto, la cual el fabricante "Spartan" no nos permitió conocer argumentando que era información confidencial y no podía ser suministrada, y así evitar que personas inescrupulosas utilizaran los datos de la concentración para la producción de productos similares.

8. DESARROLLO DEL PROYECTO

8.1. Cronograma de Actividades

A continuación se presenta el cronograma de las actividades ejecutadas durante el desarrollo de la investigación; las cuales inician desde revisión y búsqueda bibliográfica, la descripción de la fase de campo, el análisis de resultados y la presentación final del documento.

ACTIVIDAD/ MES	1				2				3				4				5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. Revisión y búsqueda Bibliografica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2. Identificación y análisis de las principales Características fisicoquímicas de la fuente de agua superficial (Río Frío) que abastece las piscinas para el proceso de empaque del banano.																				
2.1. Toma de Muestras Simples	X		X																	
2.2. Análisis de Laboratorio	X		X																	
3. Implementación de metodología experimental para caracterizar el efluente de agua servida proveniente de las piscinas de desmane y lavado del banano.																				
3.1. Toma de Muestras Simples	X	X	X	X	X	X	X	X												
3.2. Análisis de Laboratorio	X	X	X	X	X	X	X	X												
3.3. Resultados de laboratorio	X	X	X	X	X	X	X	X												

ACTIVIDAD/ MES	1				2				3				4				5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
4. Determinación de la eficiencia del floculador vertical poroso, para la remoción del látex contenido en el agua residual de los procesos de desmane y lavado, durante una jornada de empaque de banano.																				
4.1. Diseño del floculador vertical poroso.				X	X															
4.2. Construcción a escala laboratorio de floculador vertical poroso						X	X													
4.3. Muestreo y Análisis de Resultados									X	X	X	X	X	X	X	X				
4.4. Redacción del informe final															X	X	X	X	X	X
4.5. Divulgación de Resultados.																		X	X	X

Tabla 4. Cronograma de Actividades

8.2. Diseño de la unidad

El sistema fue construido en las áreas, próximas a los canales efluentes de las piscinas de desmane y lavado del banano y se trabajó con un floculador vertical poroso, hecho en polietileno de alta densidad de 0.80 m de alto por 0.40 m de diámetro, con una capacidad volumétrica de 55 Lt.

Para el estudio se escogió piedra de 1 $\frac{1}{2}$ ", 1" y $\frac{1}{2}$ " de diámetro, logrando de esta forma un lecho mixto, en donde cada lecho de piedra alcanza una altura de 0.10m, 0.15m y 0.20m respectivamente permitiendo un borde libre al floculador de aproximadamente 0.20 m una altura, en donde el flujo del agua tiene contacto inicialmente con el lecho de piedras de 1 $\frac{1}{2}$ ", luego 1" y culmina con $\frac{1}{2}$ ", para pasar al tanque de sedimentación y posteriormente ser vertida al canal que conduce a los cuerpos de agua cercanos.

Para efectos de la recopilación de datos se trabajó con tres caudales diferentes, lo que permitió variar los tiempos de retención o floculación de la unidad y de esta forma evaluar su eficiencia. Los caudales a trabajar son:

$$Q_1 = 0.0611 \text{ l / s}$$

$$Q_2 = 0.044 \text{ l / s}$$

$$Q_3 = 0.028 \text{ l / s}$$

$$TRH_1 = 5 \text{ min}$$

$$TRH_2 = 8 \text{ min}$$

$$TRH_3 = 12 \text{ min}$$

Teniendo en cuenta la forma del material del lecho poroso, tenemos según la tabla 1, que el factor de forma y la porosidad con la cual vamos a trabajar es:

$$\psi = 0.98$$

$$\epsilon = 0.38$$

Debido a que la forma del lecho utilizado es redondeada.

Características del medio poroso:

$$D = \frac{1.24}{\frac{1.19}{L_M} + \frac{0.35}{L_m}}$$

De donde:

D = Diámetro efectivo de las partículas (cm)

L_M = Dimensión mayor de la partícula (cm)

L_m = Dimensión menor de la partícula (cm)

Se utiliza grava con las siguientes especificaciones:

$$\psi = 0.98$$

$$\epsilon = 0.38$$

$$L_M = 1.5 \text{ pulg}$$

$$L_m = 0.5 \text{ pulg}$$

$$D = \frac{1.24}{\frac{1.19}{1.5} + \frac{0.35}{0.5}} = 0.83 \text{ pulg} = 2.1082 \text{ cm}$$

Los tiempos de retención en el floculador fueron hallados con la ecuación de tiempo de retención que expresa:

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

Donde

TRH = Tiempo de retención hidráulico (min)

V = Volumen (lt)

Q = Caudal (l/s)

$$TRH_1 = \frac{20 \text{ lt}}{0.0611 \text{ lt/s}} = 327.33 \text{ s} = 5.46 \text{ min} \approx 5 \text{ min}$$

$$TRH_2 = \frac{20 \text{ lt}}{0.044 \text{ lt/s}} = 454.54 \text{ s} = 7.57 \text{ min} \approx 8 \text{ min}$$

$$TRH_3 = \frac{20 \text{ lt}}{0.028 \text{ lt/s}} = 714.28 \text{ s} = 11.90 \text{ min} \approx 12 \text{ min}$$

Gradiente de velocidad

Para las condiciones del ensayo de jarras, el gradiente promedio obtimo en función del tiempo de floculación esta dado por:

$$G = \left(\frac{2.1 \times 10^5}{\theta} \right)^{\frac{1}{1.3}}$$

Donde:

θ = Tiempo de floculación en segundos.

$$G_1 = \left(\frac{2.1 \times 10^5}{5 \times 60} \right)^{\frac{1}{1.3}} = 154 \text{ s}^{-1}$$

$$G_2 = \left(\frac{2.1 \times 10^5}{8 \times 60} \right)^{\frac{1}{1.3}} = 108 s^{-1}$$

$$G_3 = \left(\frac{2.1 \times 10^5}{12 \times 60} \right)^{\frac{1}{1.3}} = 79 s^{-1}$$

La velocidad en el floculador esta dada por:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

Q= Caudal (m³/S)

A = Area (m)

Aplicando la formula tenemos:

$$V_1 = \frac{6.11 \times 10^{-05} m^3 / seg}{1.0048 m^2} = 6.08 \times 10^{-05} m / s = 6.08 \times 10^{-0.3} cm / s$$

$$V_2 = \frac{4.4 \times 10^{-05} m^3 / seg}{1.0048 m^2} = 4.38 \times 10^{-5} m / s = 4.38 \times 10^{-3} cm / s$$

$$V_3 = \frac{2.8 \times 10^{-05} m^3 / seg}{1.0048 m^2} = 2.79 \times 10^{-5} m / s = 2.79 \times 10^{-3} cm / s$$

8.3. Resultados de análisis de calidad del afluyente piscinas de desmane y lavado del banano

A continuación presentamos los resultados de los análisis físico-químicos del agua que abastece la piscina de desmane y lavado del banano.



PARAMETROS	UNIDADES	VALOR ADMISIBLE	Entrada
Temperatura	°C	< 40°C	28,7
OD	mg/lit	-	6,80
Ph	unidades	5 - 9 Unidades	6,87
Conductividad	us/cm	-	4,7
Turbidez	UNT	-	5,5
Color verdadero	UPtCo	-	10
Color aparente	UPtCo	-	10
Sólidos sedimentables	mG/lit	10 ml/lit	0
Sólidos suspendidos totales	mg/lit	Remoción > 80%	0,9
Sólidos suspendidos fijos	mg/lit	Remoción > 80%	0,7
Sólidos suspendidos volátiles	mg/lit	Remoción > 80%	0,3
DQO	mg/lit	Remoción > 80%	51
DBO	mg/lit	Remoción > 80%	25
Salinidad	mg/lit	-	0,2

Tabla 5. Características Agua de abastecimiento de las piscinas

8.4. Resultados de análisis de laboratorio, afluente y efluente del floculador vertical poroso

En las siguientes tablas se encuentran consignados los datos correspondientes a los análisis de laboratorio realizados, antes y después de hacer pasar el flujo de agua por el floculador, para lo cual tuvo en cuenta tres tiempos de retención distintos.

Vale la pena resaltar que inicialmente se aplicó una dosis estimada de la cantidad de producto necesario para el proceso de floculación, teniendo en cuenta las especificaciones de aplicación del mismo (Sparfloc). Para los ensayos siguientes la metodología utilizada para la aplicación del producto fue el ensayo de jarras, en donde la dosis de aplicación óptima fue de 2.5 ml de producto por 1000 ml de agua. Sin embargo los resultados no fueron los esperados y se procedió a disminuir la dosis aplicada del coagulante, con el fin de obtener resultados favorables al momento de hacer pasar el agua residual por el floculador.

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR ADMISIBLE	TRH 5 min		TRH 8 min		TRH 12 min	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	Lt/seg	-	0,061	0,061	0,044	0,044	0,028	0,028
Temperatura	°C	< 40°C	22,11	22,13	22,01	22,14	22,1	22,08
OD	mg/lit	-	6,63	5,12	6,61	5,1	6,58	5,03
Ph	unidades	5 - 9 Unidades	8,3	12,4	7,5	14,6	7,86	14,2
Conductividad	us/cm	-	466	1600	460	3680	402	3008
Turbidez	UNT	-	80,8	77,1	79,5	61,1	72,4	50,4
Color verdadero	UPtCo	-	40	20	40	20	40	20
Color aparente	UPtCo	-	60	40	60	40	60	30
Sólidos sedimentables	mg/lit	10 ml/lit	0	0	0	0	0	0
Sólidos suspendidos totales	mg/lit	Remoción > 80%	9,65	0,21	10,06	1,36	9,33	0,17
Sólidos suspendidos fijos	mg/lit	Remoción > 80%	9,42	0,18	10,02	1,15	8,99	0,12
Sólidos suspendidos volátiles	mg/lit	Remoción > 80%	0,23	0,03	0,04	0,21	0,34	0,05
DQO	mg/lit	Remoción > 80%	78	142	78	135	78	111
DBO	mg/lit	Remoción > 80%	56	82	56	74	56	71
Salinidad	%	-	0,2	1,7	0,4	1,8	0,3	1,6

Tabla 6. Características afluente y efluente del floculador

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR ADMISIBLE	TRH 5 min		TRH 8 min		TRH 12 min	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	Li/seg	-	0,061	0,061	0,044	0,044	0,028	0,028
Temperatura	°C	< 40°C	20,8	20,9	21	21,2	22,5	22,8
OD	mg/lt	-	6,25	5,82	6,26	5,90	6,20	5,79
Ph	unidades	5 - 9 Unidades	8,0	13,9	8	13,6	8,0	14,8
Conductividad	us/cm	-	409	1069	411	1092	580	1062
Turbidez	UNT	-	80,6	76	79,6	65	82,3	59
Color verdadero	UPtCo	-	50	40	40	30	40	20
Color aparente	UPtCo	-	50	40	50	40	50	20
Sólidos sedimentables	mg/lt	10 ml/lt	0	0	0	0	0	0
Sólidos suspendidos totales	mg/lt	Remoción > 80%	10,30	1,02	9,52	0,90	9,25	0,72
Sólidos suspendidos fijos	mg/lt	Remoción > 80%	9,40	0,12	8,62	0,75	8,35	0,56
Sólidos suspendidos volátiles	mg/lt	Remoción > 80%	0,90	0,90	0,90	0,15	0,90	0,16
DQO	mg/lt	Remoción > 80%	85	96	85	92	85	82
DBO	mg/lt	Remoción > 80%	55	80	55	73	55	66
Salinidad	%	-	0,2	0,5	0,2	0,5	0,3	0,5

Tabla 7. Características afluente y efluente del floculador

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR ADMISIBLE	TRH 5 min		TRH 8 min		TRH 12 min	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	Lt/seg	-	0,061	0,061	0,044	0,044	0,028	0,028
Temperatura	°C	< 40°C	21,0	21,2	21,3	22,3	21,1	21,50
OD	mg/lit	-	6,89	6,50	6,72	6,70	6,88	6,8
Ph	unidades	5 - 9 Unidades	7,9	10,1	7,9	11,3	7,9	10,9
Conductividad	us/cm	-	426	852	423	870	485	903
Turbidez	UNT	-	82,0	71,0	82,3	65,2	80,1	49,8
Color verdadero	UPtCo	-	40	20	50	40	50	20
Color aparente	UPtCo	-	60	50	60	50	60	30
Sólidos sedimentables	mg/lit	10 ml/lit	0	0	0	0	0	0
Sólidos suspendidos totales	mg/lit	Remoción > 80%	9,32	1,15	9,65	1,04	9,52	0,83
Sólidos suspendidos fijos	mg/lit	Remoción > 80%	8,82	0,65	9,4	0,54	9,41	0,33
Sólidos suspendidos volátiles	mg/lit	Remoción > 80%	0,5	0,5	0,25	0,50	0,11	0,5
DQO	mg/lit	Remoción > 80%	84	72	84	63	81	59
DBO	mg/lit	Remoción > 80%	76	75	76	70	76	68
Salinidad	%	-	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2

Tabla 8. Características afluente y efluente del floculador

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR ADMISIBLE	TRH 5 min		TRH 8 min		TRH 12 min	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	L/seg	-	0,061	0,061	0,044	0,044	0,028	0,028
Temperatura	°C	< 40°C	21,3	21,8	21,0	21,2	21,5	21,9
OD	mg/lt	-	7,10	7,9	6,9	6,8	6,9	6,6
Ph	unidades	5 - 9 Unidades	8,1	8,9	8,2	8,5	8,1	8,6
Conductividad	us/cm	-	405	720	430	732	471	760
Turbidez	UNT	-	82,4	70,3	82,1	67,7	80,3	51,4
Color verdadero	UPtCo	-	40	30	40	20	50	20
Color aparente	UPtCo	-	60	40	60	40	60	20
Sólidos sedimentables	mg/lt	10 ml/lt	0	0	0	0	0	0
Sólidos suspendidos totales	mg/lt	Remoción > 80%	10,23	1,02	10,01	1,12	9,89	0,98
Sólidos suspendidos fijos	mg/lt	Remoción > 80%	9,53	0,32	9,31	0,89	9,25	0,28
Sólidos suspendidos volátiles	mg/lt	Remoción > 80%	0,7	0,7	0,7	0,23	0,64	0,7
DQO	mg/lt	Remoción > 80%	102	85	102	82	102	76
DBO	mg/lt	Remoción > 80%	84	80	84	76	84	67
Salinidad	%	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabla 9. Características afluente y efluente del floculador

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR ADMISIBLE	TRH 5 min		TRH 8 min		TRH 12 min	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	Lt/seg	-	0,061	0,061	0,044	0,044	0,028	0,028
Temperatura	°C	< 40°C	19,8	20,1	19,4	19,6	19,7	19,9
OD	mg/lit	-	7,5	7,6	7,6	7,8	7,5	7,4
Ph	unidades	5 - 9 Unidades	8,0	8,1	8,0	8,2	8,0	8,3
Conductividad	us/cm	-	403	752	452	720	425	736
Turbidez	UNT	-	85,2	71,2	84,9	72,3	79,6	42,5
Color verdadero	UPtCo	-	40	20	40	20	40	20
Color aparente	UPtCo	-	60	40	60	40	60	20
Sólidos sedimentables	mg/lit	10 ml/lit	0	0	0	0	0	0
Sólidos suspendidos totales	mg/lit	Remoción > 80%	9,56	1,50	9,99	1,39	9,56	1,01
Sólidos suspendidos fijos	mg/lit	Remoción > 80%	9,42	1,05	9,54	0,94	9,11	0,8
Sólidos suspendidos volátiles	mg/lit	Remoción > 80%	0,14	0,45	0,45	0,45	0,45	0,21
DQO	mg/lit	Remoción > 80%	94	84	94	80	94	79
DBO	mg/lit	Remoción > 80%	69	63	69	57	69	43
Salinidad	%	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabla 10. Características afluente y efluente del floculador

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR ADMISIBLE	TRH 5 min		TRH 8 min		TRH 12 min	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	Lt/seg	-	0,061	0,061	0,044	0,044	0,028	0,028
Temperatura	°C	< 40°C	19,9	20,1	20,5	20,8	20,3	20,5
OD	mg/lit	-	7,8	7,6	7,4	7,1	7,8	7,4
Ph	unidades	5 - 9 Unidades	7,9	6,9	7,9	8,0	7,8	7,8
Conductividad	us/cm	-	423	756	400	723	401	745
Turbidez	UNT	-	85,1	71,2	80,8	65,3	89,6	69,2
Color verdadero	UPtCo	-	40	30	40	30	50	30
Color aparente	UPtCo	-	50	40	50	30	60	30
Sólidos sedimentables	mg/lit	10 ml/lit	0	0	0	0	0	0
Sólidos suspendidos totales	mg/lit	Remoción > 80%	9,82	1,45	10,15	1,09	10,12	0,93
Sólidos suspendidos fijos	mg/lit	Remoción > 80%	9,12	0,75	9,35	0,29	9,32	0,55
Sólidos suspendidos volátiles	mg/lit	Remoción > 80%	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,38
DQO	mg/lit	Remoción > 80%	87	78	87	75	87	69
DBO	mg/lit	Remoción > 80%	67	61	67	56	67	41
Salinidad	%	-	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabla 11. Características afluente y efluente del floculador

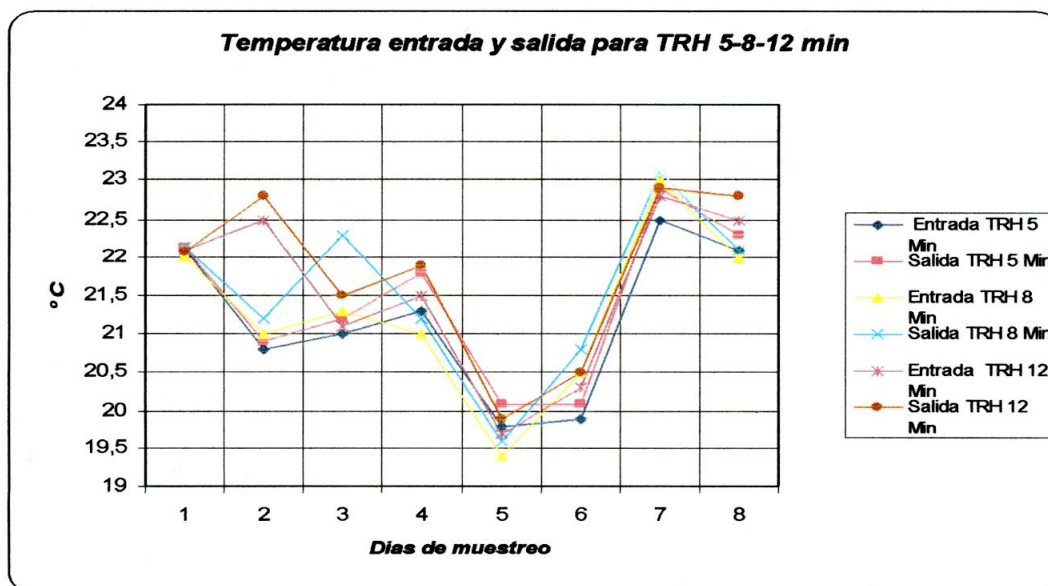
PARAMETROS	UNIDADES	VALOR ADMISIBLE	TRH 5 min		TRH 8 min		TRH 12 min	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	Lt/seg	-	0,061	0,061	0,044	0,044	0,028	0,028
Temperatura	°C	< 40°C	22,5	22,9	23	23,1	22,8	22,9
OD	mg/lit	-	6,10	5,9	6,3	6	6,70	6,2
Ph	unidades	5 - 9 Unidades	8,1	8,3	8,0	8,5	8,0	8,4
Conductividad	us/cm	-	402	785	456	723	425	712
Turbidez	UNT	-	79,2	70,1	78,3	65,3	76,5	55,7
Color verdadero	UPtCo	-	40	20	40	20	40	20
Color aparente	UPtCo	-	60	50	50	30	50	30
Sólidos sedimentables	mg/lit	10 ml/lit	0	0	0	0	0	0
Sólidos suspendidos totales	mg/lit	Remoción > 80%	10,22	1,13	10,01	0,90	11,12	1,02
Sólidos suspendidos fijos	mg/lit	Remoción > 80%	9,7	0,61	9,49	0,38	10,60	0,50
Sólidos suspendidos volátiles	mg/lit	Remoción > 80%	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
DQO	mg/lit	Remoción > 80%	92	75	92	78	92	62
DBO	mg/lit	Remoción > 80%	72	63	72	59	72	40
Salinidad	%	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabla 12. Características afluente y efluente del floculador

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR ADMISIBLE	TRH 5 min		TRH 8 min		TRH 12 min	
			Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal	Lt/seg	-	0,061	0,061	0,044	0,044	0,028	0,028
Temperatura	°C	< 40°C	22,1	22,3	22,0	22,1	22,5	22,8
OD	mg/lit	-	6,8	6,4	6,3	6,1	6,8	6,6
Ph	unidades	5 - 9 Unidades	8,0	8,1	7,9	8,0	8,1	8,0
Conductividad	us/cm	-	423	655	399	752	401	700
Turbidez	UNT	-	81,6	72,3	82,4	69,8	83,6	50,4
Color verdadero	UPtCo	-	40	20	40	30	40	10
Color aparente	UPtCo	-	60	50	60	40	60	20
Sólidos sedimentables	mg/lit	10 ml/lit	0	0	0	0	0	0
Sólidos suspendidos totales	mg/lit	Remoción > 80%	9,15	0,82	9,56	0,55	10,2	0,99
Sólidos suspendidos fijos	mg/lit	Remoción > 80%	8,53	0,20	8,24	0,30	9,58	0,37
Sólidos suspendidos volátiles	mg/lit	Remoción > 80%	0,62	0,62	1,32	0,25	0,62	0,62
DQO	mg/lit	Remoción > 80%	71	69	71	62	71	53
DBO	mg/lit	Remoción > 80%	65	60	65	56	65	40
Salinidad	%	-	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3

Tabla 13. Características afluente y efluente del floculador

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

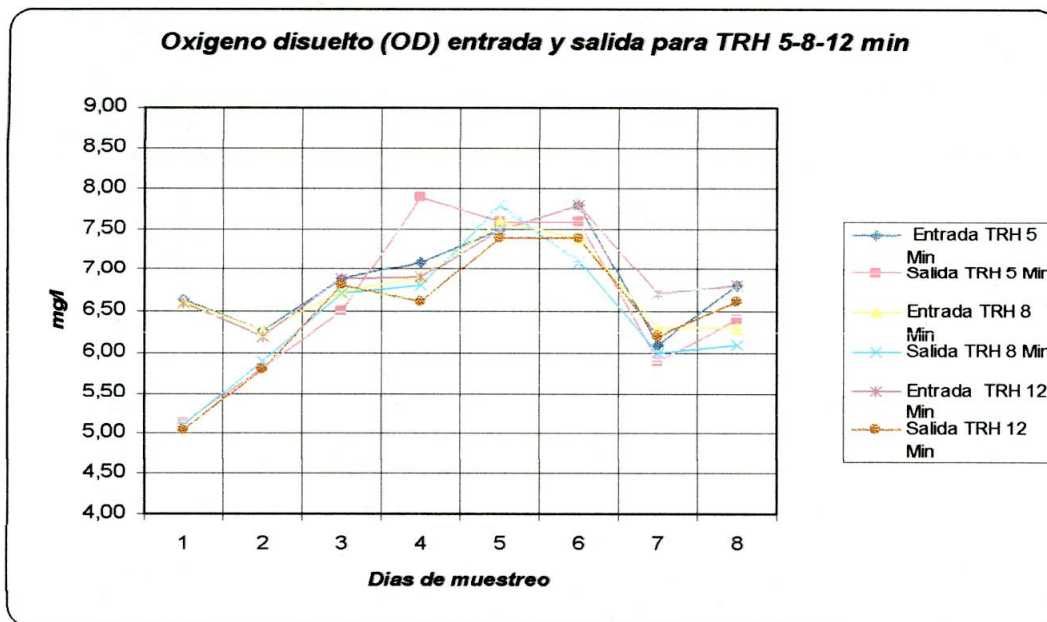


Grafica 1. Comportamiento de temperatura con respecto a los tiempos de retención hidráulica

El comportamiento de la temperatura durante el desarrollo del proyecto, se vio afectado principalmente por las condiciones climáticas de la zona durante la fase de campo de la investigación; se observan temperaturas relativamente bajas en los días 5 y 6 de muestreo en donde las precipitaciones para esas fechas aumentaron significativamente.

Este parámetro medido no influye directamente sobre los resultados esperados en la investigación, teniendo en cuenta que el objetivo general establece la aplicación de la tecnología propuesta para retirar los sólidos presentes en el agua, sin embargo, para el diseño y aplicación de esta a escala piloto es un factor importante para el buen desempeño de la unidad.

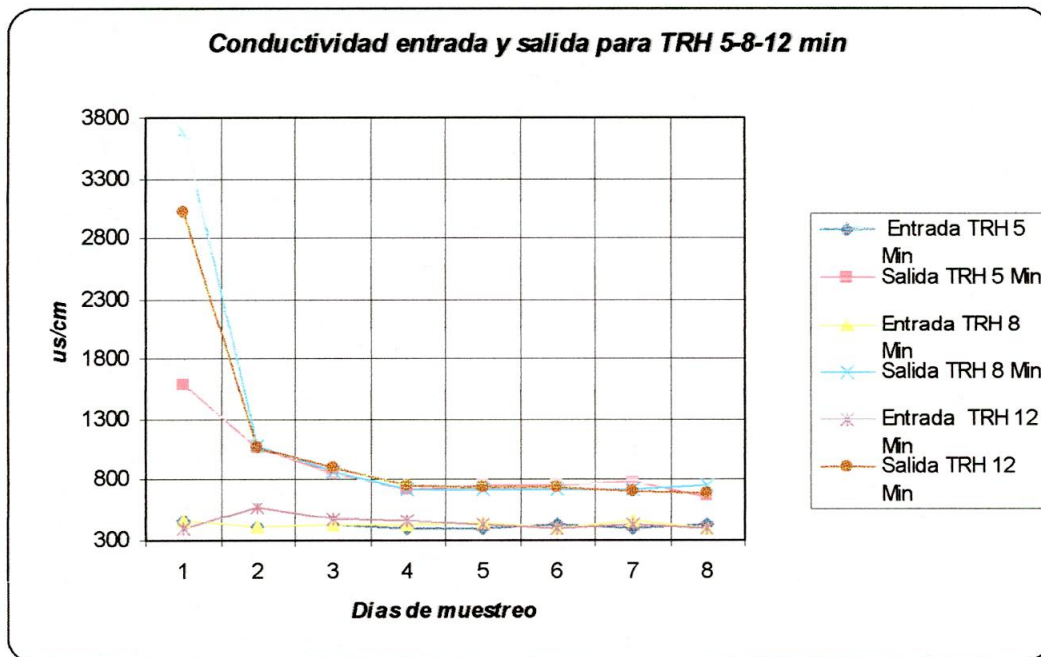
El decreto 1594/84, establece que todo vertimiento a un cuerpo de agua, debe cumplir con una serie de norma so limites permisibles, para el caso de la temperatura, no debe exceder 40 °C, es decir que los datos arrojados se encuentran dentro del rango permitido.



Grafica 2. Comportamiento de OD con respecto a los tiempos de retención hidráulica

Los valores y/o niveles de oxígeno disuelto en la entrada y salida, de la unidad marcan un notable incremento desde el inicio de la fase de campo hasta su culminación Sin embargo cabe resaltar que los datos numéricos de la salida son mucho mas bajos en comparación con los de la entrada de la unidad, causado por la adición del producto químico (Sparfloc), encargado del proceso de floculación de los sólidos que se encuentran presentes en el agua.

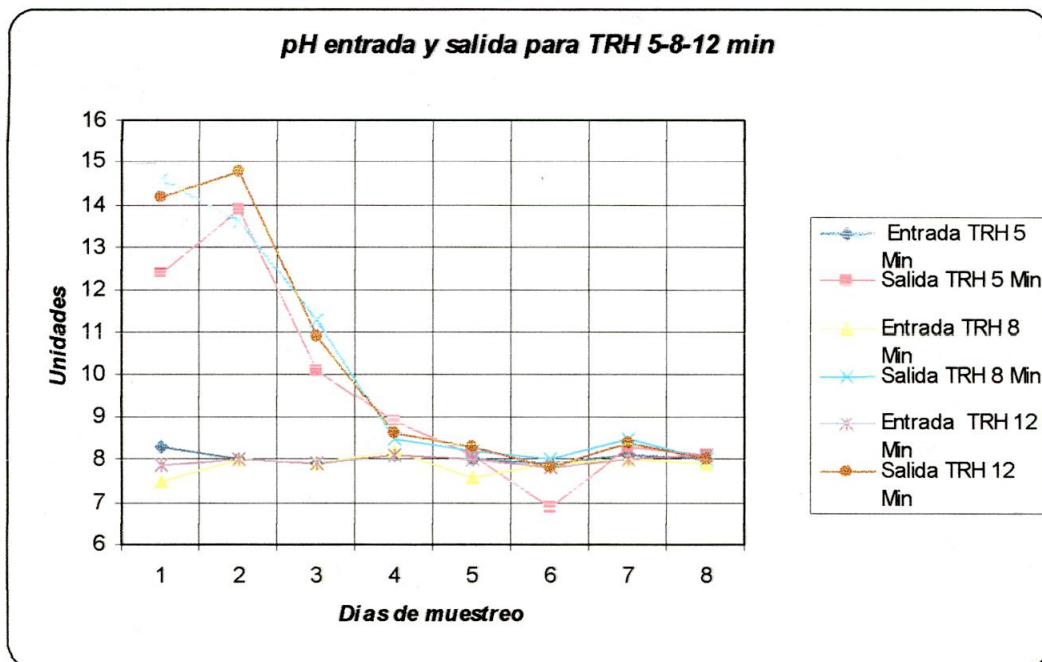
Es importante controlar los valores de oxígeno disuelto en los efluentes, debido a su participación en los procesos metabólicos de los organismos presentes en los ecosistemas tanto acuáticos como terrestres; este valor siempre debe estar en rangos que no afecten el crecimiento y reproducción de las especies presentes en los cuerpos de agua.



Grafica 3. Variación de conductividad con respecto a los tiempos de retención hidráulica

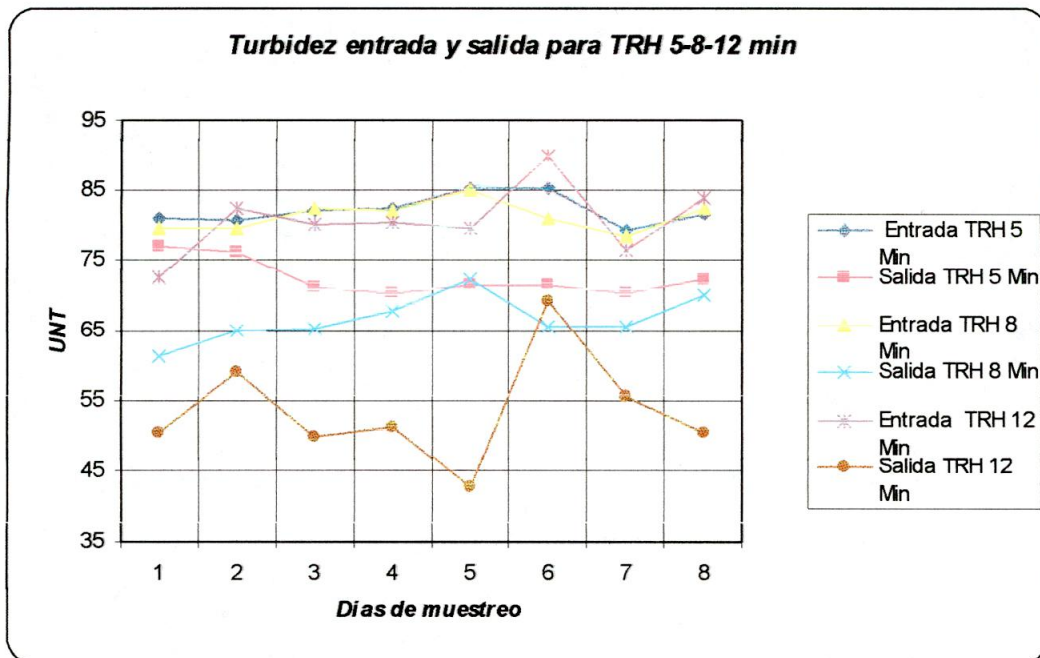
Al determinar la conductividad se evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio). La conductividad en los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente determinada por la geología del área a través de la cual fluye el agua (cuenca).

Las descargas de aguas residuales suelen aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} , u otros iones. En la grafica los valores mas altos se presentan los dos primeros días de muestreos lo cual se atribuye principalmente a la dosis de coagulante (Sparfloc) aplicada al agua residual, debido a que este presenta como ingrediente activo Policloruro de Aluminio, el cual nos altera los valores de forma significativa.



Grafica 4. Variación del pH con respecto a los tiempos de retención hidráulica

Los valores de pH de salida se encuentran dentro de un rango promedio de 6.5 y 8.5 unidades, luego de haber hallado la dosis apropiada de coagulante. Los datos que se encuentran inicialmente, se observan exagerados en comparación con los demás datos de la grafica debido a la adición del coagulante que hasta el momento, ha variado de forma significativa las propiedades físicas y químicas del agua.

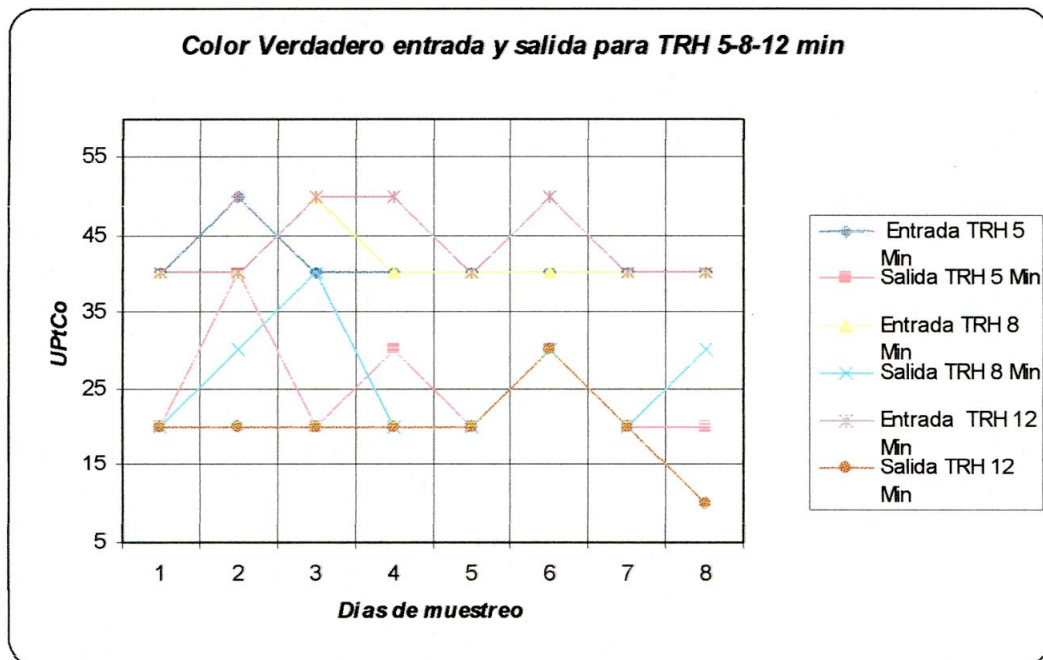


Grafica 5 . Variación de la turbiedad con respecto a los tiempos de retención hidráulica

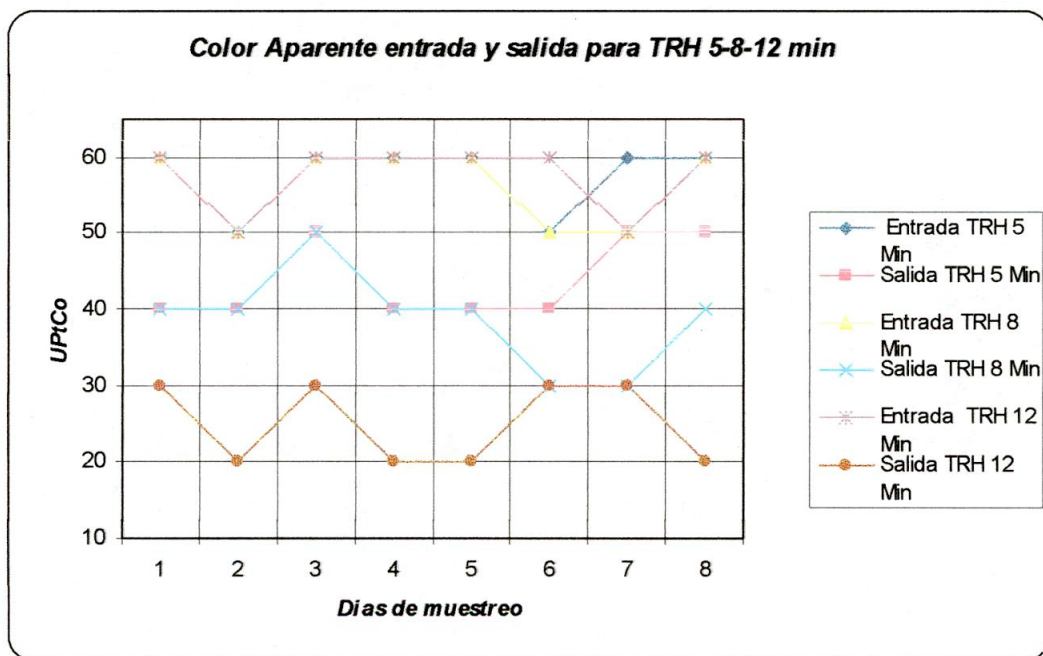
Los valores de remoción para la turbiedad del agua, demuestran los rangos mas bajos, luego de que el agua era tratada por medio del floculador, es decir, en los valores de salida.

Tenemos porcentajes de remoción máximos hasta de 70%, lo cual indica que para la dosis utilizada de 1ml/lit, la remoción de turbiedad resulta efectiva, y se va incrementando a medida que el tiempo de retención se hace mayor.

En este caso se puede afirmar que el tiempo de retención es directamente proporcional al % de remoción de turbiedad del agua tratada.

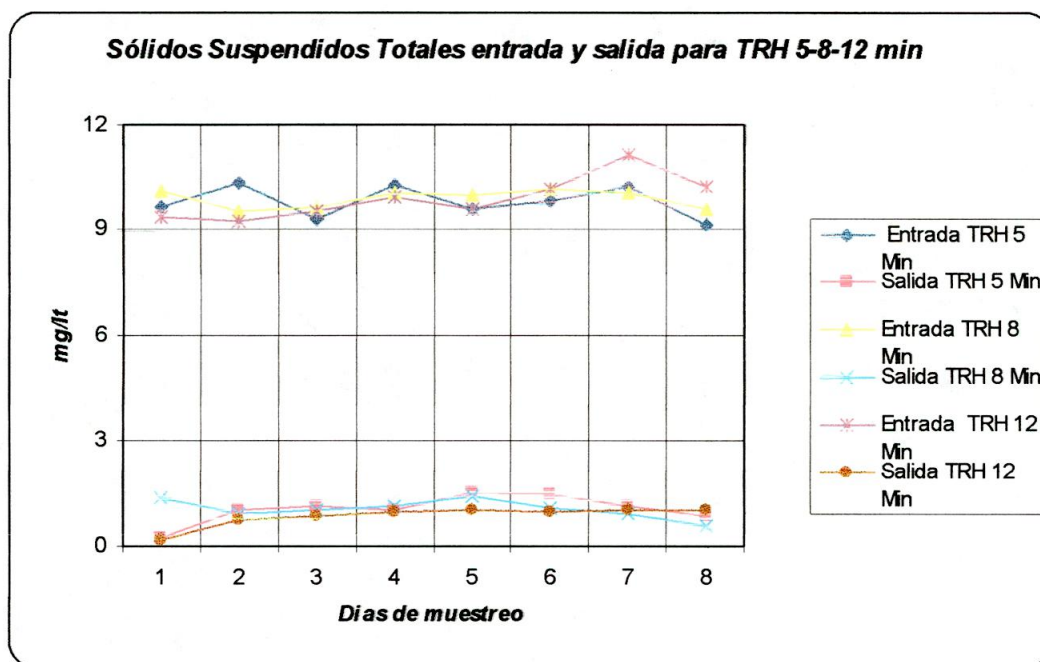


Grafica 6 . Variación del color verdadero con respecto a los tiempos de retención hidráulica



Grafica 7 . Variación del color aparente con respecto a los tiempos de retención hidráulica

En ambas graficas para la remoción de color, se observa una reducción del mismo; el % de removido en este caso se encuentra entre el 60 y 75%. Además los valores relacionados, son directamente proporcionales con el tiempo de retención establecido para cada ensayo.



Grafica 7 . Variación de sólidos suspendido totales con respecto a los tiempos de retención hidráulica

El decreto 1594/84 en su Art. 72, establece los límites máximos permisibles para algunos parámetros físicos y químicos del agua, con el fin de que esta pueda ser objeto de vertimiento.

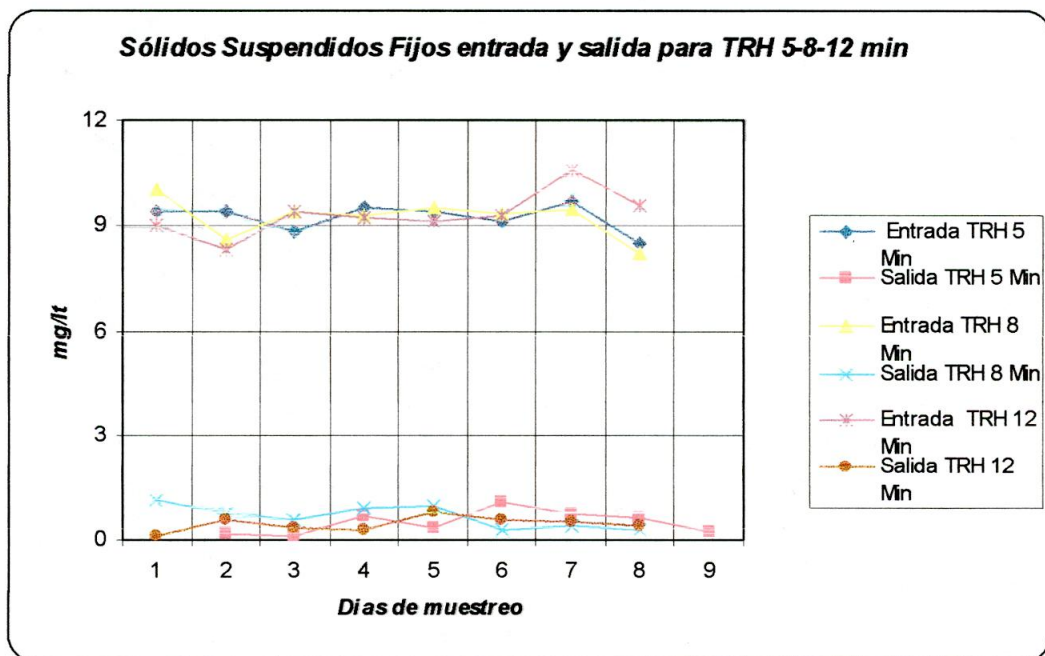
Para el caso específico de los sólidos suspendidos, domésticos o industriales, establece que el efluente antes de ser dispuesto debe ser tratado y removido un 80% de su carga orgánica o del volumen de sólidos que en el se encuentran.

Para el caso de nuestra investigación, este se convierte en el parámetro medido mas importante si tenemos en cuenta que la unidad de floculación a escala

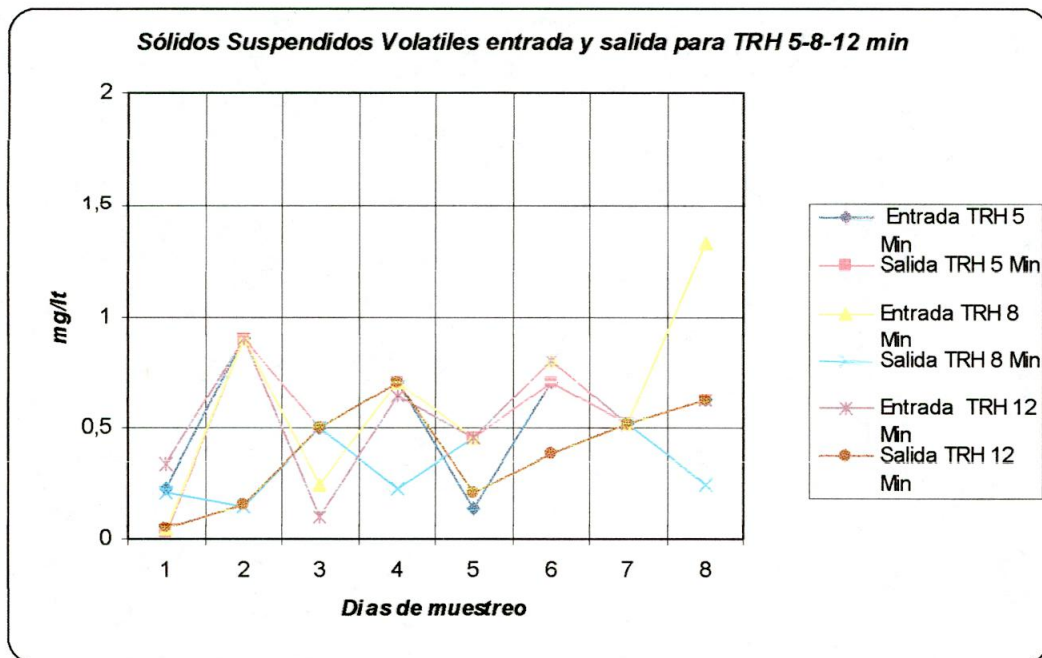
laboratorio, fue diseñada especialmente para retirar sólidos suspendidos y/o sedimentables (latex).

En este orden de ideas, las graficas de Sólidos suspendidos totales y disueltos, nos muestran que para las salidas del agua de la unidad los valores registrados, fueron bajos en comparación con los datos de la entrada del agua. Así tenemos que los valores promedios de entrada de sólidos están alrededor de 10 mg/lt, mientras que los de salida, luego de que el agua es tratada por el floculador poroso, están por debajo de 1 mg/lt; obteniendo de esta forma una remoción de sólidos suspendidos de 95.5% en carga, lo cual es un dato optimo según lo reglamentado, teniendo en cuenta que la exigencia es del 80%.

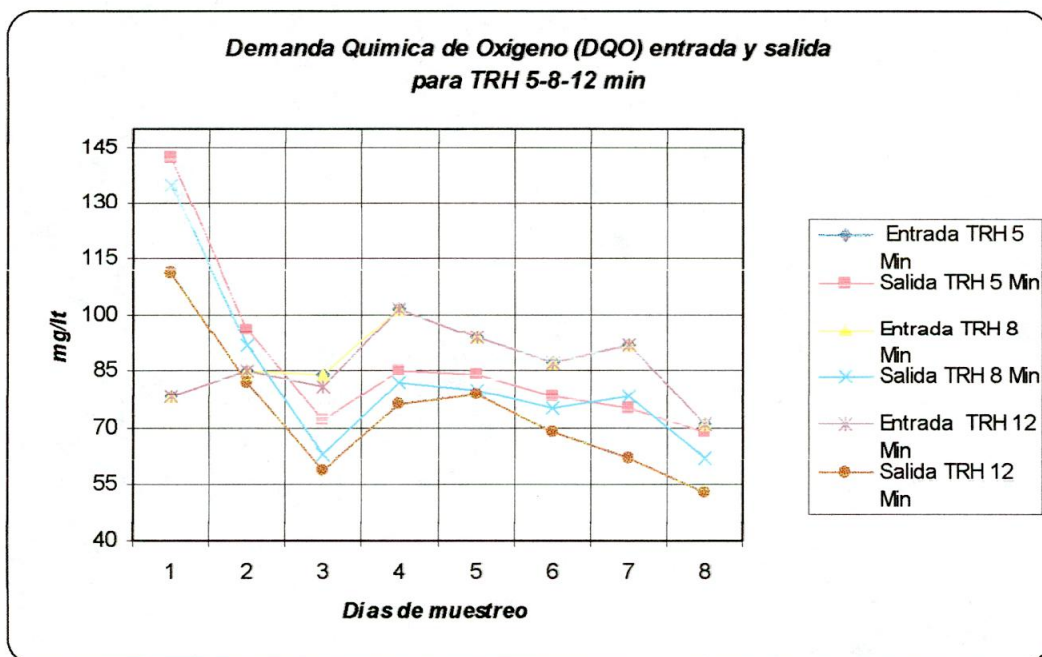
Se destaca ademas que los tiempos de retencion a pesar de ser relativamente bajos en comparación con unidades de tratamiento convencionales han arrojado buenos resultados a medida que se van incrementando.



**Grafica 8 . Variación de sólidos suspendido fijos con respecto a
los tiempos de retención hidráulica**



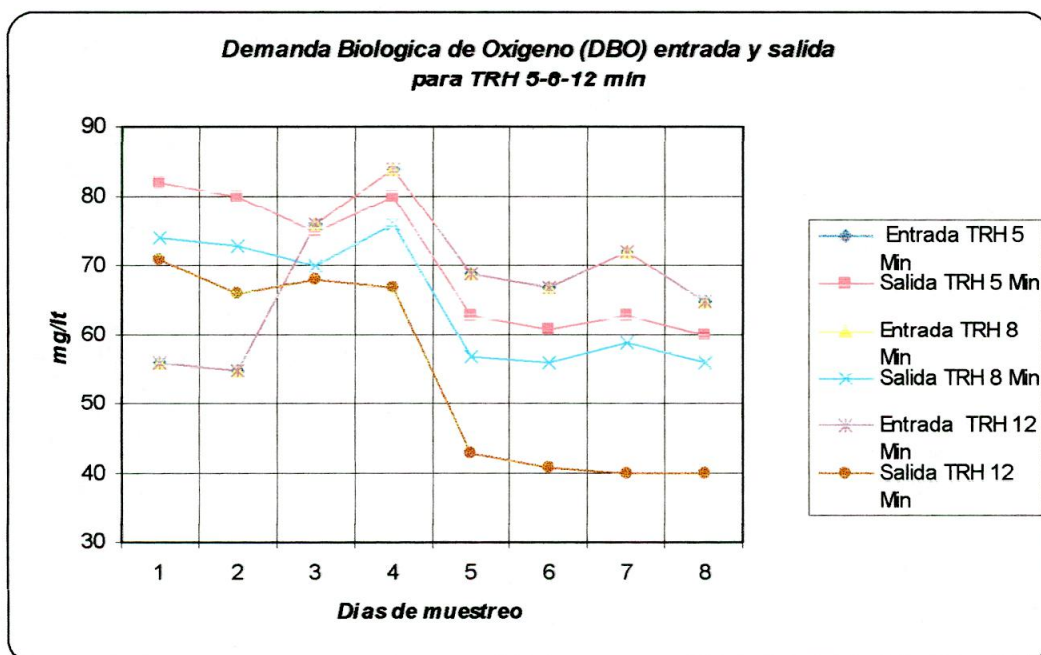
Grafica 9 . Variación de sólidos suspendido volátiles con respecto a los tiempos de retención hidráulica



Grafica 10 . Variación de la DQO con respecto a los tiempos de retención hidráulica

Para el caso de la DQO, se observan curvas decrecientes a medida en que se realizan los muestreos, y los valores arrojados en los ensayos son cada vez menores a medida en que el tiempo de retención aumenta, es decir, que en esta ocasión se presenta una relación inversa; aquí los dos factores (tiempo de retención y DQO), son inversamente proporcionales.

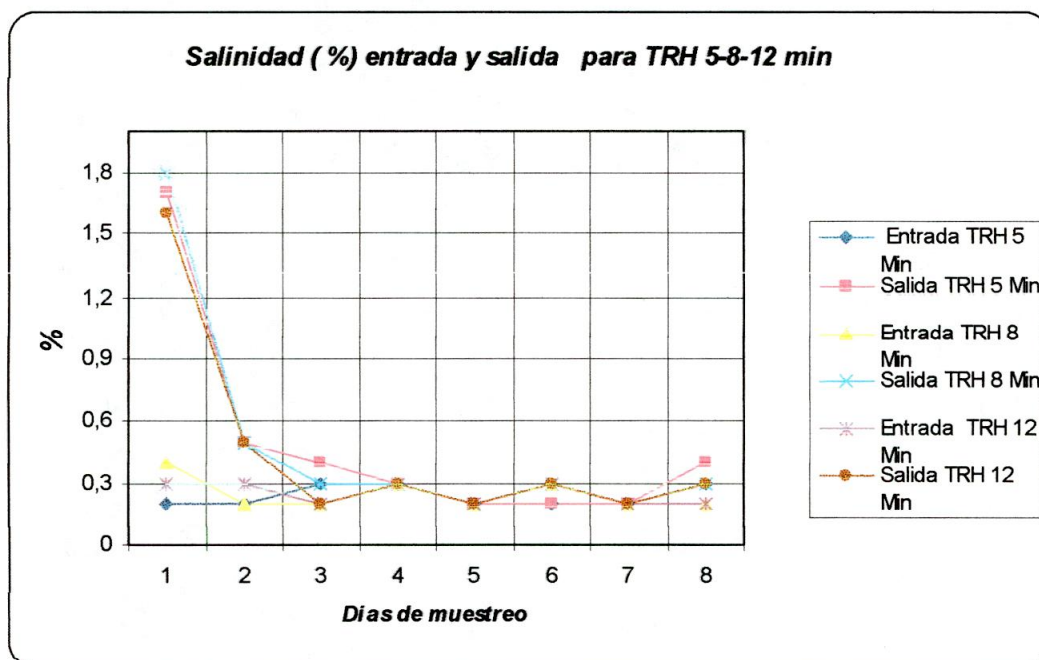
Para este parámetro la legislación ambiental nacional establece que en los vertimientos debe haber una remoción de 80% en carga. En nuestro caso de estudio y según los datos arrojados, la remoción más eficiente fue del 75% para un tiempo de retención hidráulico de 12 min.



Grafica 11 . Variación de la DQO con respecto a los tiempos de retención hidráulica

Los valores de DBO, en la salida del floculador se encuentran por debajo de los registrados en la entrada del mismo. En esta ocasión la reducción de demanda biológica de oxígeno, fue mayor en el TRH de 12 min., mientras que para el TRH de 5 min., fue mucho mas favorable, si tenemos en cuenta que este parámetro determina en gran parte, el metabolismo y desarrollo de los organismos vivos de los ecosistemas. De ahí que los valores de DBO, para el agua que va ser objeto de vertimiento deban estar en rangos apropiados para la preservación de la fauna y flora de un ecosistema determinado.

El tiempo de retención en este caso fue un factor determinante para reducir los valores de DBO del agua. Esta reducción obedece además del tiempo de retención, también a la dosis e coagulante suministrada, teniendo en cuenta que por las características del producto químico, este siempre va a disminuir los valores de la concentración de oxígeno en el agua.



Grafica 12 . Variación de la salinidad con respecto a los tiempos de retención hidráulica

10. CONCLUSIONES

- La unidad de floculación diseñada, se implemento el fin de verificar su aplicabilidad para el retiro de sólidos sedimentables en el agua residual del desmane y lavado del banano. Teniendo en cuenta lo anterior, el principal parámetro que nos va a determinar la eficiencia de la unidad es la remoción de sólidos del agua.
- En la fase de campo de la investigación, se trabajo con tres (3) tiempos de retención hidráulica diferentes con el fin de observar el comportamiento de las propiedades del agua, al ser tratada con el lecho poroso. Estos fueron de 5, 8 y 12 min. respectivamente y según los resultados arrojados por los análisis de laboratorio la unidad posee una mayor eficiencia para el TRH de 12 min, en cuanto a la remoción de turbiedad, color y sólidos suspendidos.
- El producto químico utilizado en la presente investigación, posee unos altos valores de pH, además de que su principal componente el policloruro de aluminio, tiene un peso atómico bastante alto, lo cual afecto de manera significativa los resultados de laboratorio presentados.
- Para el estudio se utilizo un lecho poroso mixto, es decir, con varios diámetros que permitieran que el flujo de agua graduara su velocidad y el tratamiento de la misma resultara eficiente.
- La remoción de sólidos suspendidos fue de 95.5%, lo cual convierte a esta unidad de floculación no convencional, probada por primera vez para el tratamiento de aguas residuales de cultivos bananeros, en una alternativa viable económicamente y además técnicamente para los productores bananeros no solo del departamento del Magdalena y la Región Caribe, sino también para el resto de productores bananeros del país.
- Entre las ventajas mas significativas que se pueden mencionar con respecto a la aplicación de esta tecnología alternativa no convencional, podemos destacar inicialmente que los tiempos de floculación son menores en comparación con unidades de tratamiento convencionales; las áreas necesarias para el diseño y construcción de las unidades son inferiores a las utilizadas normalmente, y en cuanto a los costos de mantenimiento también se observa una reducción en comparación con alternativas convencionales.
- La floculación en medios porosos, resulta factible por factores técnicos y económicos, además, la eficiencia de la tecnología según algunos autores es mayor cuando el diámetro del lecho granular se hace menor.

12. RECOMENDACIONES

- El Sparfloc, como producto utilizado para el tratamiento de las aguas residuales de los cultivos bananeros, no resulta viable si tenemos en cuenta que por su composición química, altera notablemente las condiciones, físicas, microbiológicas y químicas del agua. Resulta conveniente pensar en productos alternativos que permitan un tratamiento adecuado para el agua, pero que a la vez, preserve las condiciones del medio al cual va a ser vertido.
- La Zona Bananera, epicentro de la investigación en el departamento del Magdalena, es un municipio que tradicionalmente en la historia se ha encargado de sembrar esta fruta (banano) para exportarlo a diversas partes del mundo, lo cual quiere decir que las aguas residuales de este tipo de industrias, existen en el medio ambiente desde hace mucho tiempo. Debemos tener en cuenta que este municipio limita inevitablemente con la Ciénaga Grande de Santa Marta, y la mayor parte de los residuos líquidos vertidos a cuerpos de agua, van a tener su disposición o destino final en este ecosistema acuático, llevando consigo gran cantidad no solo de sólidos suspendidos en el agua, sino además coronas y dedos, producto del proceso de empaque de la fruta. Hasta el momento no se ha realizado un estudio del impacto ambiental causado a la Ciénaga Grande de Santa Marta, que permita evaluar los daños causados por este tipo de vertimientos a ese ecosistema. Las recomendaciones luego de observar los resultados obtenidos es que se inicie la puesta en marcha de un trabajo de investigación que permita evaluar tal situación, pues se debe tener en cuenta que desde hace muchos años hasta hoy, aun se logra ver fincas bananeras realizando vertimientos sin ningún tipo de control y sin alguna autoridad capaz de llamarles la atención.
- Según la bibliografía consultada para el desarrollo del trabajo de investigación, sería recomendable el uso de productos coagulantes de origen natural u orgánico, entre los que podemos citar la fécula de la yuca, la cual ha sido probada en algunos países para el proceso de clarificación del agua potable, arrojando muy buenos resultados y bajos costos económicos; esta alternativa se convierte en una buena posibilidad para probar este tipo de productos y determinar así la eficiencia de los mismos para el tratamiento de aguas residuales.

13. PRESUPUESTO

RUBROS	FUENTES		TOTAL
	Universidad del Magdalena	Recursos Estudiantes	
Personal	\$ 2,625,00	\$ 6,912,00	\$ 9.537,00
Equipos	\$ 4.000,00	\$ 700,00	\$ 4.700,00
Software	----	----	----
Materiales	\$ 250,00	\$ 144,00	\$ 394,00
Salidas De Campo	----	\$ 660,00	\$ 660,00
Material Bibliográfico	\$ 900,00	----	\$ 900,00
Publicaciones Y Patentes	----	\$ 500,00	\$ 500,00
Servicios Técnicos	----	\$30,00	\$ 30,00
Viajes	\$ 1.800,00	\$ 1.200,00	\$ 3.000,00
Construcciones	No financiable	----	----
Mantenimiento	No financiable	----	----
Administración	No financiable	----	----
TOTAL	\$ 9.575,00	\$ 10.146,00	\$ 19.721,00

Tabla.4 Presupuesto global de la propuesta por fuentes de financiación (en miles de \$)

LUGAR /No. DE VIAJES	JUSTIFICACIÓN**	PASAJES (\$)	ESTADIA (\$)	TOTAL DIAS	RECURSOS		
					Universidad del Magdalena	Recursos Estudiantes	Total
Ba/quilla- sta Mta, Sta Mta- Ba/quilla	Dirección para la investigación	10	---	---	480,00	---	\$ 480,00
TOTAL					---	\$ 480,00	\$ 480,00

Tabla 5. Descripción y justificación de los viajes (en miles de \$)

NOMBRE Y FORMACIÓN DEL INVESTIGADOR / EXPERTO/ AUXILIAR	FUNCIÓN DENTRO DEL PROYECTO	DEDICACIÓN	CONTRAPARTIDA		TOTAL
			Universidad del Magdalena	Recursos Estudiante s	
Faisal Bernal Higuita. M Sc en Ing Amb	Director	4	\$ 2.625,00	---	\$ 2.625,00
Leonardo Bueno R. P Ing Agronómica	Asesor Externo	6	---	\$ 1.312,00	\$ 1.312,00
Carolina Owen Jacquin. Est. P en Ing Amb	Coinvestigador	20	---	\$ 2.800,00	\$ 2.800,00
Christyan Meyer Noguera.	Coinvestigador	20	---	\$ 2.800,00	\$ 2.800,00
TOTAL			\$ 2.625,00	\$ 6.912,00	\$ 9.537,00

Tabla 6. Descripción de los gastos de personal (en miles de \$).

EQUIPOS	UNIMAG	RECURSOS ESTUDIANTES	TOTAL
Equipos de Laboratorio Unimag	\$ 4.000,00	----	\$ 4.000,00
Computador Durom 2200X	----	\$ 240,00	\$ 240,00
Computador Pentium IV	----	\$ 300,00	\$ 300,00
Memoria USB 2G Flash Imation	----	\$ 90,00	\$ 90,00
Memoria USB 2MG Flash Markvision	----	\$ 70,00	\$ 70,00
TOTAL	\$ 4.000,00	\$ 700,00	\$ 4.700,00

Tabla 7. Descripción y cuantificación de los equipos de uso propio (en miles de \$)

Materiales*	Justificación	FUENTE		Total
		Universidad del Magdalena	Recursos Estudiantes	
Vidriería e Implementos de laboratorio	Análisis de la Muestra	\$ 250,00	----	\$ 250,00
Canecas plásticas 20lt	Construcción del floculador Vertical	----	\$ 20,00	\$ 20,00
Grava seleccionada	Material poroso para el Floculador	----	\$ 70,00	\$ 70,00
Válvula de mariposa	Método para efluente del floculador	----	\$ 4,00	\$ 4,00
Libro Tratamiento de Agua Potable, Autor; Jairo Romero	Apoyo para diseñar el floculador	----	\$ 50,00	\$ 50,00
TOTAL		\$ 250,00	\$ 144,00	\$ 394,00

Tabla 8. Materiales, suministros (en miles de \$)

Item	Costo unitario	#	Fuente		Total
			Universidad del Magdalena	Recursos Estudiantes	
Toma de Muestra	\$ 20,00	13	----	\$ 260,00	\$ 260,00
Realización del montaje	\$ 30,00	2	----	\$ 60,00	\$ 60,00
TOTAL			\$ -	\$ 320,00	\$ 660,00

Tabla 9. Valoraciones salidas de campo (en miles de \$)

ITEM	JUSTIFICACIÓN	FUENTE		Total
		Universidad del Magdalena	Recurso Estudiante	
Base de datos Especializada (Proquest)	Adquisición de la bibliografía para el desarrollo de la investigación	\$ 300,00	----	\$ 300,00
Base de datos Especializada (science Direct)		\$ 300,00	----	\$ 300,00
Base de datos Especializada (universia)		\$ 300,00	----	\$ 300,00
TOTAL		\$ 900,00	----	\$ 900,00

Tabla 10. Bibliografía (en miles de \$)

TIPO DE SERVICIO	JUSTIFICACION	FUENTE		Total
		Universidad del Magdalena	Recurso Estudiante	
Servicio de adecuación de tanques	Instalación de válvulas y acoples (mangueras) a los tanques.	----	\$ 30,00	\$ 30,00
TOTAL		----	\$ 30,00	\$ 30,00

Tabla 11. Servicios Técnicos (en miles de \$)

ITEM	JUSTIFICACIÓN	FUENTE		TOTAL
		Universidad del Magdalena	Recursos Estudiantes	
publicación de la Investigación	Difusión de los resultados obtenidos en la investigación	\$ 250,00	\$ 250,00	\$ 500,00
TOTAL		\$ 250,00	\$ 250,00	\$ 500,00

Tabla 12. Publicaciones Y Patentes (en miles de \$)

14. BIBLIOGRAFÍA

1. APHA-AWWA-WEF.: "Standard Methods for the examination of water and wastewater", 18th Edition, 1992.
2. Metcalf y Eddy. (edit) "Ingeniería de aguas residuales", McGraw-Hill. México, 1995.
3. ALVES De Souza. "Influência Da Aplicação De Polímero Natural De Fécula De Mandioca Como Auxiliar De Floculação Na Estação De Tratamento De Água Nº 2 De Valinhos – Sp. – Estudo De Caso". VIII Exposição De Experiências Municipais Em Saneamento 34ª Assembléia Nacional – Caxias Do Sul/RS – 2004
4. Documento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Sección II título C. Sistemas de potabilización. Ministerio de desarrollo económico. Colombia, 2000.
5. Romero J. "Acuitratamiento por lagunas de estabilización", Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia, 1994.
6. Yabroudi S, Cárdenas C. "Effluent polishing of the stabilization ponds at the University of Zulia through rock filter" Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia v.26 n.2 Maracaibo agosto. 2003
7. Portus L. "Curso practico de estadística", segunda edición. McGraw-Hill. Colombia 1985.
8. N. E. Reartes, M. M. Massera. "Eficiencia del método de coagulación y floculación en el tratamiento de efluentes en la industria citricola". Planta piloto de ingeniería química. Argentina 2006.
9. O'Brien W. and McKinney R.: "Removal of lagoon effluent suspended solids by a slow-rock filter". EPA-68-03-0280; EPA /600/2-79/011, 1979.
10. Mcghee T. "Abastecimiento de agua y alcantarillado". Ingeniería ambiental sexta edición McGraw-Hill. Colombia, 1999.

11. HARRIS, H.S.; KAUFMAN, W.J. & KRONE, R.B. orthokinetic flocculation in water purification. *Journal of Sanitary engineering Division ASCE*, 92 (SA6): 95-11, Dec. 1966.
12. HUDSON, H.E. Physical aspects of flocculation. *Journal AWWA*, 57(7): 885-892, JUL. 1965.
13. ARGAMAN, Y & KAUFMAN, W.J. turbulence and flocculation. *Journal Environmental Engineering Division ASCE*, 96(SA2). 223-241, Apr. 1970
14. PARKER, D.S., KAUFMAN, W.J. & JENKIS, D. floc breakup in turbulent flocculation processes. *Journal environmental Engineering Division ASCE*, 98 (SA1): 79-99, Feb. 1972.
15. ANDREU-VILLEGAS, R. & LETTERMAN, R.D.. Optimizing flocculator power input. *Journal of the environmental Engineering Division*, 102 (EE2): 251-262, Apr. 1976.
16. Agencia de Proteccion Ambiental de los Estados Unidos – EPA. Optimización de la producción de plantas de tratamiento de agua mediante el programa de Corrección Compuesto. Washington, Agencia de Protección Ambiental de los estados Unidos. EPA/625/6-91/027, 1998.
17. Kawamura, Susumu y R. Rhodes Trussell. "Main Features of Large Water Treatment Plants in Japan", *Journal of the American Water Works Association*, junio, 1991.
18. Bhargava, D. S. y C. S. P. Ojha. "Models for Design of Flocculating Baffled Channels", *Water Research*, vol. 27, 3, 1993.
19. Richter, Carlos. *Projetos de estações de tratamento de água. Módulo 4.4. Projetos de unidades de floculação*. Lima, CEPIS, 1981.
20. Programa CEPIS/OPS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. *Manual V. Criterios de Diseño*. Serie Filtración Rapida. Lima, CEPIS, 1992.
21. CEPIS/OPS (1973). *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Serie Técnica 13. Lima, CEPIS/OPS, 1966.
22. CEPIS/OPS. *Criterios de diseño de plantas de tratamiento de agua*. Lima, CEPIS/OPS, s. f. 1983.



23. Richter, Carlos y R. B. Moreira. *Floculadores de piedras. Experiencias en filtros pilotos*. Curitiba, Sanepar, 1980.
24. Richter, Carlos. *Estación de tratamiento para pequeñas comunidades*. Curitiba, Sanepar, 1980.
25. Richter, Carlos. *Sistemas de floculación acelerada*. Curitiba, Sanepar, s. f.
26. Snel, H. y Jorge Arboleda. *Influencia de la escala de turbulencia en el proceso de floculación del agua*. Cali, ACODAL, 1982.
27. Canepa de Vargas, Lidia. *Programa de evaluación de plantas en República Dominicana*. Informe Técnico 356. Lima, CEPIS, 1986.
28. Mhaisalkar, V. A., R. Paramasivam y A. G. Bhole. "Optimizing Physical Parameters of Rapid Mix Design for Flocculation of Turbid Waters". *Water Research*, vol. 25, 1, 1991, pp. 43-52.
29. Birkener, B.F., & Ezwald, J.K., (Dic. 1969), "Nonionic polymer flocculation kinetics of dilute clay suspensions", *Journal AWWA*, 61: 12, p.645.
30. Birkener, EB., & Morgan. J.J., (Feb. 1968), "Polymer flocculation kinetics of dilute colloidal suspensions", *Journal AWWA*, 60: 2, p. 175.
31. Campos J.R. y Di Bernardo L. "Uso de Polímeros Naturales en el Tratamiento de Agua de Abastecimiento". Publicación del Centro Interregional de Abastecimiento y Remoción de Agua. (E.NARA). (1991).
32. Hanson A. T. y Cleasby J.L. "The effect of Temperature on Turbulent Flocculation: Fluid Dynamics and Chemistry". *Journal AWWA* 82:56. Nov. 1990.
33. Kirchner C.J., Arboleda J. y Castro M.L. "Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación" Publicaciones de OPS/CEPIS. Lima.
34. Dharmappa, H. B., J. Verink, O. Fujiwara y S. Vigneswaran. "Optimal Design of a Flocculator". *Water Research*, vol. 27, 3, 1993, pp. 513-519.

ANEXOS

Anexo A

Procedimientos utilizados para análisis de laboratorio

COLOR APARENTE Y VERDADERO

INTRODUCCIÓN

El color es debido a las materias colorantes disueltas o finamente debida en suspensión que impurifica las aguas por disolución o arrastre. El color normal lo constituye la materia colorante vegetal, principalmente la disuelta a partir de las hojas.

Color Real: o verdadero es el producido por sustancias en solución únicamente.

Color aparente: o total es el que incluye además del color real, el que producen las sustancias que están en suspensión.

OBJETIVO

- Determinación del color aparente y el color verdadero en una muestra problema.

METODOLOGIA

Método de Comparación visual: Es el más aplicable a casi todas las muestras de agua potable. El color lo podemos determinar por este método, de comparación visual de la muestra con soluciones coloreadas de concentración conocida, es decir, con patrones fáciles de preparación en el laboratorio siguiendo el método internacional de la escala de platino –cobalto.

El método de platino- cobalto es el método normalizado para medir color, definiéndose la unidad de color como aquella producida por 1 mg de platino, como cloroplatino de potasio, en 1 litro de solución. La relación de cobalto a platino puede ser variada para obtener el matiz de un color en casos especiales.

MATERIALES Y REACTIVOS

- Medidor de PH.
- Kit de color Merck o Spectroquam SQ 118.
- Centrifugadora.
- Probetas graduadas de 50 ml.

PROCEDIMIENTO

1. Determinación de color aparente: Tomar 50 ml de la muestra "Cruda" homogeneizada, en un tubo de Nessler del kit de Merk, de la misma capacidad y comparar los patrones, contra un fondo blanco de porcelana. Si el color excede de 80 unidades, se diluye la muestra con H₂O en proporciones conocidas y el resultado se multiplica por el factor de dilución.
2. Color real o verdadero: la muestra debe centrifugarse para remover la turbiedad que interfería en los resultados si no se hace. La velocidad y el tiempo de centrifugación se determinan por la magnitud de la turbidez de la muestra, siendo en algunos casos de 13200rpm, durante una hora, tomándose como índice el grado de claridad y transparencia del líquido sobrenadante después de la centrifugación.

Una vez efectuado este paso se puede seguir con cualquiera de los dos posibles procedimientos mencionados anteriormente.

En la determinación con el Kit color de merk, se toma como valor de coloración el del patrón más próximo al de la muestra y se reporta en números enteros.

CALCULOS:

a) Calcular las unidades de color por la siguiente ecuación:

$$\text{Unidades de color} = \frac{A * 50}{B}$$

Donde:

A = Color estimado de una muestra diluida

B = ml de muestra tomados para la dilución.

b) Infórmese los resultados de color en cifras completas y regístrese como sigue:

Unidades	de	Registro	más
----------	----	----------	-----

color	cercano
1-50	1
51-100	5
101-250	10
251-500	20

Unidades de color Pt-Co0 o UPC (Un Hazen equivale a 2 UPC).

c) Informe del PH de la muestra

TURBIEDAD:

INTRODUCCION:

La turbiedad es producida por materia de carácter mineral u orgánico en suspensión en el agua (arcilla, plankton, etc.).

La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que causa que la luz sea dispersada absorbida en lugar de transmitida en línea recta a través de la muestra.

Históricamente el método estándar para la determinación de turbiedad ha sido basado en el Turbidímetro a la vela de Jackson. Sin embargo, el valor más bajo de turbiedad medible directamente con él es 25 unidades. Como la turbiedad de las aguas tratadas cae generalmente en un rango muy por debajo del límite inferior de este aparato, se han desarrollado métodos indirectos secundarios para determinar la turbiedad de dichas muestras.

OBJETIVO:

Determinación de turbidez de una muestra de agua problema.

MATERIALES Y REACTIVOS

- Agua destilada.
- Soluciones patrón de turbiedad.
- Patrón de trabajo.

- Turbidímetro.
- Celdas de vidrio incoloras.

METODOLOGIA:

Para la determinación de la turbiedad se siguen dos métodos:

- Se compara la muestra con patrones de turbiedad preparados en el laboratorio o se usa un Turbidímetro.
- Método Nefelométrico.

PROCEDIMIENTO:

Preparación de la solución Patrón:

1. Solución I: Se disuelve 1.0 g de sulfato de hidracina (PRECAUCIÓN: cancerígeno, evitar inhalación, ingestión y contacto con la piel), $(\text{HN}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$, en agua destilada y dilúyanse hasta 100 ml en un matraz volumétrico.
2. Solución II: Disuélvanse 10.0 g de hexametenotetramina, $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$, en agua destilada y dilúyanse hasta 100 ml en un matraz volumétrico.
3. En un matraz de 100 ml mézclense 5.0 ml de solución I y 5.0 ml de solución II. Manténgase durante 24 horas a $25 \pm 3^\circ\text{C}$, dilúyanse hasta la marca y mézclese. La turbiedad de esta suspensión es de 400 UNT.
4. Prepárense soluciones y suspensiones mensualmente.

M. Nefelométrico:

1. Calibrado de Turbidímetro: Síganse las instrucciones del fabricante. A falta de una escala precalibrada, prepárense curvas de calibrado para cada margen del aparato. Utilizando estándares adecuados, compruébese la exactitud de cualquier escala de calibrado de que se disponga sobre un instrumento precalibrado.
Verifíquese por lo menos un estándar en cada margen del aparato que se vaya a utilizar. Compruébese que el Turbidímetro facilita lecturas estables en todos los márgenes de sensibilidad utilizados.

2. Medida de turbidez menor de 40 UNT: Agitase hasta que desaparezca las burbujas de aire, y viértase la muestra en el tubo del Turbidímetro. Cuando sea posible, viértase la muestra agitada en el tubo y sumérjase en un baño ultrasónico durante 1-2 segundos, obteniendo la eliminación total de las burbujas. Léase directamente la turbidez en la escala del aparato o en la curva del calibrado adecuada.
3. Medida de turbidez superior a 40 UNT: Dilúyanse la muestra con uno o más volúmenes de agua libre de turbidez hasta que ésta descienda a 30-40 UNT. Calcúlense la turbidez de la muestra diluida y del factor de dilución. Por ejemplo, si cinco volúmenes de agua libre de turbidez se añaden a un volumen de muestra y la muestra diluida mostró una turbidez de 30 UNT, la turbidez de la muestra original era de 180 UNT.
4. Calíbrese soluciones de monitorización continua de turbidez, para cifras bajas de ésta, mediante determinación de la turbidez del agua que entra y sale por ellas, utilizando un Turbidímetro modelo de laboratorio. Cuando esto no sea posible, empléese un adecuado estándar diluido. Para turbidez superior a 40 UNT, utilice solución madre no diluida.

CALCULOS:

Unidades nefelométricas de turbidez

$$(UNT) = \frac{A * (B + C)}{C}$$

Donde:

- A= UNT encontradas en muestra
Diluida,
B= Volumen (ml) de agua de
dilución
C= Volumen (ml) de la muestra
tomada para dilución.

RESULTADOS:

- 1) Infórmese de las lecturas de turbidez del siguiente modo:

Margen de turbidez UNT	Informe de cifra más próxima
0-1.0	0.05
1-10	0.1
10-40	1
40-100	5
100-400	10
400-1.000	50
>1.000	100

- 2) Para comparar la eficacia del Turbidímetro de una agua, estímesese la turbidez de forma más precisa a como se ha señalado aquí. Las incertidumbres y discrepancias en medidas de turbidez hacen improbable que dos o más laboratorios dupliquen los resultados de una misma muestra con más exactitud que la especificada.
- 3) Realizar una tabla y análisis de los resultados, comparando con los valores establecidos en el Decreto 475/98.
- 4) Explique la naturaleza de los materiales que causan turbiedad en:
 1. El agua contaminada del río.
 2. El agua residual doméstica.
 3. ¿Cuál es el límite para la turbiedad establecido como criterio para agua segura?

SÓLIDOS:

INTRODUCCIÓN:

Sólidos son los materiales suspendidos o disueltos en aguas limpias y aguas residuales. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras. Las aguas con abundante sólidos disueltos suelen ser de inferior palatabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional. Por estas razones, para las aguas potables es deseable un límite de 500 g/l de sólidos disueltos. Las aguas altamente mineralizadas tampoco son adecuadas para muchas aplicaciones industriales o incluso resultan estéticamente insatisfactorias para bañarse. Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico

de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.

OBJETIVO:

- Conocer, usando una porción conocida de la muestra de agua, la totalidad de las sustancias suspendidas y disueltas que se obtienen al evaporarla y secarlas.

MATERIALES Y REACTIVOS

- Cápsula de evaporación (porcelana platino o acero inoxidable)
- Baño de Maria.
- Estufa
- Desecador.
- Balanza analítica
- Mufla
- Embudo o filtro
- Papel filtro
- Malla de asbesto
- Beaker de 150 ml
- Erlenmeyer de 150 ml

METODOLOGIA:

Los sólidos totales en una muestra de agua incluyen el material disuelto y el material suspendido. Para su determinación, la muestra se evapora previamente, luego es secada a 103 – 105°C.

PROCEDIMIENTO:

- 1) Tomamos 1 cápsula de 100 ml, secada en una estufa a 105°C por una hora.
- 2) Posteriormente en un desecador, se pesa inmediatamente antes de su empleo.
- 3) Se mide el volumen de la muestra, bien mezclada y se calienta hasta sequedad sobre baño Maria. Si es necesario medir toda la cantidad que se va

a emplear e ir agregándola por porciones a la cápsula a medida que se evapora.

- 4) Luego se traslada la cápsula a la estufa y se mantiene por una hora 103-105°C, se deja enfriar en el desecador y se pesa.
- 5) Se repite el proceso hasta obtener el peso constante.

CALCULO:

$$\text{Sólidos Totales en mg/l} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{Muestra (ml)}}$$

Donde:

A = peso de la muestra + cápsula,
mg

B = peso de la cápsula, mg

SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS: **(180° C)**

OBJETIVO: conocer la porción disuelta de la muestra, que es la materia que pasa a través de un disco estándar de fibra de vidrio y que permanece en el filtrado después de la filtración.

MATERIALES:

- Cápsula de evaporación (porcelana platino o acero inoxidable)
- Baño de Maria.
- Estufa

- Desecador.
- Balanza analítica
- Mufla
- Embudo o filtro
- Papel filtro
- Malla de asbesto
- Beaker de 150 ml
- Erlenmeyer de 150 ml
- Filtros de fibra de vidrio estándar o crisoles Gooh

METODOLOGIA:

Los sólidos disueltos o residuos filtrables son determinados directamente o por diferencias entre los sólidos totales y los suspendidos. La muestra bien mezclada se filtra, el filtrado se evapora a sequedad y se seca hasta peso constante a 180°C.

PROCEDIMIENTO:

- 1) Se prepara la cápsula por calentamiento durante una hora a 180°C, enfriamiento en el desecador y pesada.
- 2) Se toma un Erlenmeyer con un embudo de vidrio provisto de papel filtro, se hace pasar por el filtro un volumen exactamente medido de la muestra y se lava el filtro con 3 porciones de 10 ml de agua destilada que se recogen junto con el filtro principal.
- 3) Se transfiere el filtrado a la cápsula previamente tarada y se evapora hasta sequedad en el baño María, procediendo como se indico en la determinación de los sólidos totales y secando el residuo a 180°C, hasta peso constante.

CALCULO:

$$\text{Sólidos disueltos en mg/l} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{Muestra (ml)}}$$

Donde:

A = peso de la muestra + cápsula,
mg

B = peso de la cápsula, mg

SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS:
(183° C – 105°C)

OBJETIVO: Determinar la fracción de la muestra, que es el material retenido en un filtro de fibra de vidrio estándar y que es necesario conocer con fines de purificación y usos del agua. En análisis de rutina, pueden estimarse los sólidos suspendidos totales, por la diferencia en miligramos por litro, de los sólidos totales y los disueltos.

MATERIALES Y REACTIVOS:

- Cápsula de evaporación (porcelana platino o acero inoxidable)
- Baño de María.
- Estufa
- Desecador.
- Balanza analítica
- Mufla
- Embudo o filtro
- Papel filtro
- Malla de asbesto
- Beaker de 150 ml
- Erlenmeyer de 150 ml
- Filtros de fibra de vidrio estándar o crisoles Gooh

METODOLOGIA:

Los sólidos suspendidos constituyen el residuo filtrable o material no disuelto y son determinados por filtración o directamente por diferencia entre los sólidos totales y disueltos.

PROCEDIMIENTO:

- 1) Se prepara el filtro secándolo a 103-105°C por una hora, dejándolo enfriar en el desecador y pesándolo.

- 2) Se hace pasar a través del filtro una cantidad medida de agua; el filtro se seca en la estufa a 103 – 105°C, por una hora, se deja enfriar y se pesa.
- 3) Se repite la operación hasta obtener peso constante.

CALCULO:

Sólidos suspendidos en mg/l =

$$\frac{(A - B) * 1000}{\text{Muestra (ml)}}$$

Donde:

A = Peso del filtro + residuo en mg

B = Peso del filtro en mg

V = Volumen de la muestra en ml

SÓLIDOS FIJOS Y VOLATILES
(500-600°C)

OBJETIVO: Determinar a partir de la calcinación de 500 a 600°C, los sólidos remanentes que representan los sólidos totales fijos, disueltos o en suspensión, mientras que la pérdida de peso por combustión representan los sólidos volátiles.

MATERIALES Y REACTIVOS:

- Cápsula de evaporación (porcelana platino o acero inoxidable)
- Baño de Maria.
- Estufa
- Desecador.
- Balanza analítica
- Mufla
- Embudo o filtro
- Papel filtro
- Malla de asbesto
- Beaker de 150 ml
- Erlenmeyer de 150 ml
- Filtros de fibra de vidrio estándar o crisoles Gooh

METODOLOGIA:

Los sólidos fijos son el residuo de los sólidos volátiles, en suspensión o disueltos, después de la calcinación por un tiempo determinado y a una temperatura específica. La pérdida de peso debido a la calcinación constituye los sólidos volátiles.

PROCEDIMIENTO Y ANALISIS DE RESULTADOS:

- 1) Se preparan tres cápsulas calcinándolas en la mufla entre 500 y 600°C, por una hora, dejan enfriar en el desecador y se pesan.
- 2) Los residuos obtenidos de la determinación de sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos, después de pesados hasta peso constante se calcinan por separado en la mufla entre 500-600°C; se dejan enfriar en un desecador y se pesan.
- 3) El resultado del residuo de sólidos totales constituye los sólidos fijos totales, el del residuo de sólidos totales disuelto constituye los sólidos fijos disueltos y el residuo de los sólidos totales suspendidos constituye los sólidos fijos suspendidos.
- 4) La pérdida de peso representa la fracción volátil y respectivamente corresponde a sólidos volátiles totales, sólidos volátiles disueltos y sólidos volátiles suspendidos.

CONDUCTIVIDAD:

INTRODUCCION:

La conductividad es conocida como la expresión numérica, la cual demuestra la capacidad de una solución de conducir la corriente eléctrica. Esta depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición.

Las mediciones de conductividad en las prácticas de laboratorio se utilizan para:

- **Establecer el grado de mineralización.** Determinar el efecto de la concentración total de los iones presentes en la solución sobre el equilibrio químico.
- **Determinar el grado de mineralización.** Tanto del agua destilada, como desionizada.
- **Evaluar la concentración de minerales.** Que puedan encontrarse disueltos en aguas naturales y residuales.
- **Valorar el tamaño de la muestra que se vaya a utilizar.**
- **Determinar la dosis de reactivo iónico.** necesario en algunas situaciones de reacciones de precipitación y neutralización.

METODOLOGIA:

La conductividad, como se aplica al análisis de agua, es una de la medida de la capacidad del agua para transportar la corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de sustancias iónicas en el agua. La conductividad del agua es medida con instrumentos de lectura directa.

MATERIALES Y REACTIVOS:

- Agua destilada
- Conductímetro
- **Solución patrón de KCl 0.01M:** Se disuelven 745.6 mg de KCl anhidro en suficiente agua destilada, para completar a 25°C un litro. Esta solución tiene una conductividad de 1413 $\mu\text{mhos/cm}$. La solución debe almacenarse en un recipiente color ámbar con tapón de vidrio.

PROCEDIMIENTO:

Es recomendable utilizar un Conductímetro capaz de hacer la medición con un error no superior a 1% ó 1 $\mu\text{mhos/cm}$; la celda debe escogerse de tal forma que la constante sea aproximadamente 0.1 para soluciones de baja conectividad ($\leq 100 \mu\text{mhos/cm}$), 1 para conductividad moderada y 10 para alta conductividad. Además deben seguirse las instrucciones del fabricante y comprobar las lecturas empleando distintas soluciones de cloruro de potasio.

Conectar el instrumento a la fuente de energía, prender el interruptor de encendido y dejar pasar 5 minutos para que se caliente.

Determinación de la constante de la celda. Se prepara la celda lavándola, por lo menos tres veces, con solución de KCl 0.01 M; se llena la celda de cloruro de Potasio a 25°C, se mide la resistencia y se calcula la constante de la celda de acuerdo con la siguiente formula:

$$C = 0.001413 \times R_{KCl} \{1 + 0.0191 (t - 25)\}$$

Donde:

R KCl = Resistencia medida, ohms.

t = Temperatura de la determinación, °C

Se lava la celda con varias porciones de muestra, se llena con la muestra; deben sumergirse los electrodos y la cámara del electrodo no debe contener aire atrapado y se mide la resistencia o la conductividad de la muestra. Toque la celdilla ligeramente para remover cualquier burbuja y sumerja dos o tres veces para asegurar una mojada adecuada.

CALCULOS:

Cuando se mide la resistencia de la muestra, la conductividad a 25°C:

$$K = C / R_m \{1 + 0.0191 (t - 25)\}$$

Donde:

K = Conductividad en $\mu\text{mhos/cm}$

C = Constante de la celda

R_m = Resistencia medida de la muestra, μmhos

t = temperatura de la determinación

Si se midió la conductividad de la muestra, el valor de conductividad de la solución es igual a la lectura del dial multiplicada por el multiplicador, como se expresa en la siguiente formula:

$$K = C \times K_m / \{1 + 0.0191 (t - 25)\}$$

Donde:

K_m = Conductividad de la muestra, $\mu\text{mhos/cm}$

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

INTRODUCCIÓN



La demanda química de oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujo en solución fuertemente ácida (H_2SO_4) con un exceso conocido de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en presencia de sulfato de plata (AgSO_4) que actúa como agente catalizador. Después de la digestión, el remanente de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sin reducir se titula con sulfato ferroso de amonio; se usa como indicador de punto final el complejo ferroso de ortofenantrolina (ferroina). La materia orgánica oxidable se calcula en términos de oxígeno equivalente.

Para muestras de un origen específico, la DQO se puede relacionar empíricamente con la DBO, el carbono orgánico o la materia orgánica; la prueba se usa para controlar y monitorear después que se ha establecido la correlación.

TOMA Y PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA

1. Colectar las muestras en botellas de vidrio preferiblemente; el uso de envases plásticos es permisible si se asegura la ausencia de contaminantes orgánicos.
2. Si la muestra tiene materia orgánica biológicamente activa, el análisis debe realizarse inmediatamente, aunque preservada a pH ≤ 2 por adición de H_2SO_4 conc. (generalmente 2 mL de H_2SO_4).
3. Las muestras que contengan sólidos sedimentables deben mezclarse con un homogeneizador para obtener una muestra representativa.
4. En el análisis de aguas residuales con alta DQO deben hacerse diluciones preliminares, para reducir el error inherente en la medida de pequeños volúmenes de muestra.

MATERIALES Y REACTIVOS

Microreactor para DQO

Pipetas de 5 ml

Probetas de 100 ml

Tubos de ensayos tapa rosca

Reactivo sulfúrico: Agregar con cuidado Ag_2SO_4 grado reactivo o técnico, en cristales o en polvo, sobre H_2SO_4 concentrado en proporción de 5,5g de Ag_2SO_4 /Kg de H_2SO_4 . Dejar en reposo 1 o 2 días para la disolución del Ag_2SO_4 . compuesto de ácido sulfúrico y sulfato de plata

Solución de ferroina: (indicador) Disolver 1,485 g de 1,10-fenantrolina monohidratada y 695 mg de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y diluir a 100 mL. Esta solución también se puede adquirir comercialmente.

Sulfato de amonio ferroso FAS 0.25 M Disolver 98 g de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada; agregar 20 mL de H_2SO_4 concentrado, enfriar y diluir a 1000 mL.

Dicromato de potasio 0.0417 M Disolver 12,259 g de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, grado estándar primario previamente secado durante 2 h a 103°C , en agua destilada y diluir a 1000 ml.

PROCEDIMIENTO

Tome un tubo de ensayo y coloque 2.5 ml de la muestra problema agréguele 3.5 ml de reactivo sulfúrico suavemente esto lo debe realizar sobre una gradilla debido a que al agregar el reactivo sulfúrico se presenta una reacción exotérmica tape y deje reposar por unos minutos posteriormente agregue 1.5 ml de dicromato de potasio tape nuevamente y mezcle cuidadosamente debe revisar que la tapa cierre herméticamente para evitar derrames del liquido en el proceso de digestión, rotule su muestra correctamente sobre la tapa del tubo de ensayo ;coloque el tubo de ensayo en el **MICROREACTOR** el cual debe encenderse antes de colocar los tubos para que alcance la temperatura adecuada de digestión 150°C , una vez estén los tubos en el **MICROREACTOR** se debe esperar por espacio de 2 horas para una digestión completa.

Posterior a la digestión deje reposar hasta temperatura ambiente, agregue de dos a tres gotas de indicador de ferroina y titule exceso de dicromato con **FAS 0.25M** el punto final de Titulación Es cuando la muestra alcance un color azul verdoso al marrón rojizo

Anote el volumen de **FAS** gastado en la muestra problema. El anterior procedimiento se debe realizar para una blanco de reactivos con agua destilada.

CÁLCULOS:

$$(A - B) \times M \times 8000$$

DQO= -----

ml de la muestra

OXIGENO DISUELTO

OBJETIVO:

Determinar la cantidad de Oxígeno disuelto (OD) en una muestra de agua problema.

FUNDAMENTO DEL MÉTODO:

Se basa en la adición de una solución de manganeso y una yoduro-alcalina, la cual lleva incorporada azida de sodio, cuya función es la de eliminar interferencias debidas a iones oxidantes como nitritos y materia orgánica presentes; al mismo tiempo que se le protege del aire para evitar la oxidación. El oxígeno disuelto oxida rápidamente una cantidad equivalente del hidróxido de manganeso formado y los productos de oxidación reaccionan con iones yoduro en medio ácido para liberar cantidad equivalente de yodo al OD presente, originalmente.

MATERIALES Y REACTIVOS

- ✓ Bureta
- ✓ Botellas Winkler de 300 ml o su equivalente
- ✓ Pipetas de 2 ml
- ✓ Beaker de 100 ml
- ✓ Sulfato de Manganeso
- ✓ Solución yoduro –alcalina
- ✓ Ácido sulfúrico al 70%
- ✓ Solución de almidón 3%
- ✓ Tiosulfato de sodio 0.01 N
- ✓ Solución de KIO_3 0.01 N

PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES

Sulfato de Manganeso (Winkler I):

Disolver 182.5 g de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y diluir a 1.0 litro.

Solución de yoduro-alcalina (Winkler II):

Disolver 250 g de NaOH en 250 ml de agua destilada. Disolver 150g de KI en 200 ml de agua destilada. Una vez frías, mezclar las dos soluciones y agregarse 5 g de azida de sodio disuelta en 20 ml de agua destilada, completar a 500 ml.

Acido sulfúrico al 70%:

Mezclar 350 ml de acido sulfúrico concentrado con 150 ml de agua destilada.

Acido de almidón 3%:

Disolver 3.0 g de almidón en 100 ml de glicerina, calentando hasta disolución total.

Tiosulfato de sodio 1.0 N:

Disolver 62.0 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada hervida previamente para desalojar del CO_2 , y completar a 250 ml en un matraz aforado. Agregarle 0.5 ml de CS_2 como preservativo, y guardar en un lugar fresco y oscuro. A partir de esta solución se prepara la de 0.01 N.

Solución de KIO_3 0.01 N:

Disolver 0.3567 g de KIO_3 , exactamente pesado en balanza analítica, en agua destilada y completar volumen a 1.0 litro de solución en un balon aforado.

PROCEDIMIENTO

La muestra para la determinación de OD debe ser tomada por rebosamiento y evitando introducir burbujas de aire; la botella winkler en la cual se colecta, debe enjuagarse por lo menos dos veces con el agua de la muestra.

En forma rápida, se agregan primero 1 ml de solución de sulfato de manganeso (Winkler I) y luego 1 ml de solución yoduro-alcalina (Winkler II) introduciendo las pipetas o dosificadores hasta la parte media de la botella Winkler y evitando de nuevo producir burbujas. Posteriormente se tapa y se agita fuertemente. Las muestras se almacenan en un lugar fresco y preferiblemente oscuro, se trasladan al laboratorio para el análisis respectivo, el que se realiza en un tiempo no inferior a 15 minutos pero no mayor de seis horas.

Durante esos 15 minutos se deja separar el precipitado hasta observar unos 100 ml de líquido sobrenadante claro; se acidifica la muestra con 1 ml de solución de H_2SO_4 al 70% dejándolo resbalar por las paredes del recipiente; se vuelve a tapar el recipiente y se mezcla por inversión hasta que toda la solución se haya repartido uniformemente. Tomar alícuotas de 50 ml de muestra por duplicado, adicionar dos gotas de solución de almidón y titular con solución de tiosulfato de

sodio 0.01 N hasta desaparición del color azul; anotar los volúmenes de tiosulfato y promediar.

Determinación Del Blanco

1. Llenar una botella Winkler de 300 ml o su equivalente con agua destilada
2. Realizar el mismo procedimiento que para las muestras
3. Si al agregar la solución de almidón da coloración azul, titular con tiosulfato 0.01 N y anotar el volumen gastado

Estandarización De Tiosulfato De Sodio

1. Pipetear 2 alícuotas de 10 ml de KIO_3 0.01 N en erlenmeyers de 125 ml.
2. Adicionar 50 ml de agua destilada a cada uno y agitar.
3. Adicionar 2 ml de solución de H_2SO_4 y agitar
4. Adicionar 2 ml de solución de yoduro-alcalina y agitar
5. Dejar en reposo por 15 minutos.
6. Titular con tiosulfato 0.01 N en presencia de almidón, lo mismo que para la muestra, anotar los volúmenes y promedios.

Cálculos:

Con las siguientes formulas, puede calcularse la concentración de oxígeno disuelto en las muestras:

$$\text{OD (mg/l)} = 8.0 \times (1000/V_m) \times (v/(V-4)) \times (a - b) \times N$$

Donde:

OD = Contenido de oxígeno disuelto

V_m = ml de muestra usado en la titulación

V = ml de la botella Winkler

a = ml de tiosulfato de sodio 0.01 N consumidos

N = normalidad exacta del tiosulfato de sodio

b = ml de tiosulfato 0.01 N gastado para el blanco de reactivos

DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO

OBJETIVO:

Determinar la demanda bioquímica de oxígeno de una muestra de agua problema.

Fundamento del método:

El método consiste en llenar con la muestra una botella winkler, que se incuba a una temperatura de 20 °C durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide inicialmente y después de la incubación y se calcula la DBO por diferencia entre el oxígeno inicial y el final.

Materiales y reactivos:

Incubadora, buretas, botellas winkler de 300 ml de capacidad, pipetas de 5 ml erlenmeyers, varillas de vidrio papel aluminio, beakers de 100 ml.

Agua destilada, sulfato de manganeso, solución de yoduro alcalina, ácido sulfúrico al 70%, solución de almidón al 3%, tiosulfato de sodio 0.01N, solución de yodato de potasio KIO_3 0.01N, solución de ácido acético, solución de yoduro de potasio, solución de sulfito de sodio 0.025N, solución buffer de fosfatos, solución de sulfato de magnesio, solución de cloruro de calcio, solución de cloruro ferrico, solución de glucosa-ácido glutámico.

Preparaciones de soluciones:

Solución de yodato de potasio 0.01N: disolver 0.3567 gramos de KIO_3 exactamente pesado en balanza analítica, en agua destilada y completar a 1 litro de solución en balón aforado.

Solución sulfito de sodio 0.025N:

Disolver 1.5750 gramos de sulfito de sodio en agua y diluir a 1 litro. Esta solución no es estable y debe prepararse diariamente.

Solución de yoduro de potasio:

Disolver 10 g de KI en agua destilada y completar a 100ml.

Solución de ácido acético:

Adicionar 250 ml de ácido acético glacial a 250ml de agua destilada

Solución buffer de fosfatos: Disolver 85 gramos de fosfato diácido de potasio, 21.75 gramos de fosfato ácido de potasio, 33.4 gramos de fosfato ácido de sodio y 1.7 gramos de cloruro de amonio en 500 ml de agua destilada y diluir a un litro. El pH es de 7.2 sin ajuste posterior.

Solución de sulfato de magnesio: disolver 22.5 gramos de sulfato de magnesio penta hidratado en agua destilada y diluir a un litro.



Solución de cloruro de calcio: disolver 27.5 gramos de cloruro de calcio en agua destilada y diluir a 1.0 litro.

Solución de cloruro ferrico: disolver la neutralización de cáusticos o ácidos en la muestras.

Solución de glucosa ácido glutámico: secar a 103°C glucosa y el ácido glutámico por una hora. Pesar 150 mg de glucosa u 150 mg de ácido glutámico, disolver en agua destilada y completar a 1 litro.

Preparación del agua de dilución: se adiciona el volumen de agua deseado en una botella apropiada y se le agrega 1 ml de solución de los siguientes compuestos: buffer de fosfato, $MgSO_4$, $CaCl_2$ y $FeCl_3$ por litro de agua.

Preparación de la Siembra: Se usa un sobrenadante de aguas residuales domesticas después de dejarlo sedimentar a temperatura ambiente durante al menos 1 h pero no mas de 36 h.

Recomendaciones: La colección de las muestras se hace en botellas de vidrio con boca y tapa esmeriladas, de un litro de capacidad. En el sitio del muestreo, se llenan las botellas con el agua en estudio, hasta que rebosen y se cierran sin dejar burbujas. Las muestras deben ser analizadas tan rápido como sea posible después del muestreo, preservándolas con los reactivos fijadores Winkler I y Winkler II, las que van a ser determinadas inmediatamente y las que se incubaran se trasladan almacenándolas a 4°C o menos, si el analisis se hace después de dos horas del muestreo, pero sin que el tiempo de conservación y almacenamiento sobrepase las veinticuatro (24) hora. Cuando por circunstancias especiales, es necesario conservar la muestra por 24 horas, con el resultado se debe anotar el tiempo y la temperatura de almacenamiento y conservación.

- a) **Botellas de Incubación:** Las botellas de incubación más utilizadas son los frascos Winkler de 300 ml de capacidad, con bocatapa esmerilada. Las botellas se lavan químicamente y para evitar que el aire penetre a la botella de incubación-dilución se recomienda usar un sello de agua, colocándole un gorro de plástico o de cualquier otro material apropiado, en la boca de la botella para evitar la evaporación del sello de agua durante la incubación.
- b) **Incubadora de Aire:** Controlada a 20°C y tratando que las botellas de incubación deben estar protegidas de la luz para evitar cualquier posible producción de OD por fotosíntesis.

Procedimiento:

Las aguas residuales domesticas, los efluentes no clorados o no desinfectados de plantas de tratamiento de residuos biológicos y las aguas superficiales que reciben descargas de aguas residuales, contienen poblaciones microbianas

satisfactorias, por lo tanto no requieren material de siembra para la determinación de la DBO (Muestras sin dilución, ni material de siembra).

Sin embargo, algunas muestras no contienen una población microbiana suficiente, por ejemplo, residuos industriales no tratados, residuos desinfectados o a alta temperatura o residuos con valores de pH extremos; para tales residuos se siembra el agua de dilución o la muestra añadiendo una población de microorganismos (Muestras con dilución).

Sin importar el origen de la muestra, se verifica el pH antes de su ensayo, que debe ser entre 6.5 y 7.5. Para neutralizar la muestra dentro del rango exigido se utiliza una solución de ácido sulfúrico diluido o de hidróxido de sodio al 5% según convenga.

Si las muestras contienen cloro residual se dejan en reposo unas 2 horas para que este se disipe, si esto no es efectivo, se toman 100 ml de muestra y se le añaden 10 ml de solución de Yoduro de potasio, 10 ml de ácido acético y unas gotas de indicador de almidón. Si aparece un color azul, la muestra se titula con sulfito de sodio 0.0125 M hasta que el color azul desaparezca. El volumen de sulfito se anota como volumen a ml.

Tomar otros 100 ml de muestra y añadirle a ml de solución de sulfito, después de 10 minutos, agregando 10 ml de yoduro de potasio, 10 ml de ácido acético y unas gotas de solución indicadora de almidón. Si la solución toma el color azul, se titula con más solución de sulfito de sodio, hasta que el color desaparezca. Este volumen se anota como b ml de sulfito.

Hecho lo anterior, a la muestra original se le adiciona a-b ml de solución de sulfito de sodio por cada 100 ml de dicha muestra. Este volumen se debe tener en cuenta para el cálculo del factor de dilución.

Procedimiento sin dilución de la muestra:

La muestra debe ser removida de la materia suspendida antes de iniciar el ensayo, se llenan tres botellas Winkler hasta el borde, evitando que entren burbujas de aire. Inmediatamente se tapan dos de las tres botellas y se colocan en la incubadora, ajustando la temperatura a 20°C +/- 1°C.

Determinar inmediatamente el contenido de OD de la botella no incubada por el método Winkler Azida modificado y registrar el resultado como OD inicial.

Determinar, después de cinco días, el concentrado de OD de las botellas incubadas y registrar el promedio como OD final.

Procedimiento con dilución de la muestra:

Las aguas residuales domesticas e industriales muy contaminadas, que generalmente tienen una gran DBO, se diluyen con agua destilada rica en oxigeno de tal manera que después del tiempo de incubación existan como mínimo 2 mg/l de oxigeno a 20°C.

Cuando la DBO es desconocida, se recomienda preparar tres o cuatro muestras haciendo factores de dilución en serie, cuyos factores de dilución no difieran por mas de 2.5 como por ejemplo: 1, 2, 5, 10, 25... Cuando el factor de dilución que se va a usar es mayor de 200, esta debe hacerse en dos pasos o etapas, pero nunca se debe usar un volumen de muestra original menor de 6 ml para hacer la dilución. La temperatura del agua de dilución debe ser de 20°C.

De acuerdo a la dilución escogida, se coloca con una pipeta en un balon aforado de 1.0 litro, el volumen de muestra a analizar. Ajustar el pH de la solución entre 6.5 y 7.5 y completar el volumen final con agua de dilución; llenar con las muestras diluidas, tres botellas para DBO hasta que rebosen y evitando que entre aire. Cerrar inmediatamente dos botellas y colocarlas en la incubadora a la temperatura de 20°C +/- 1°C, por un periodo de cinco días.

Determinar inmediatamente el contenido de OD en la botella restante, según el método winkler Azida modificado o electrodo de membrana. Anote el resultado como OD inicial.

Después de los cinco días de incubación, determinar el oxigeno disuelto en las muestras incubadas y anotar el resultado promedio como OD final.

Procedimiento para muestras de control:

Para chequear el procedimiento y los reactivos, se recomienda analizar, simultáneamente con el lote de muestras problema problemas, a tres muestras de control así:

Una muestra de control que contenga 1.0 ml de "semillas" y 15 ml de solución de glucosa-acido glutámico por litro de agua de dilución.

Una muestra de control que contenga 1.0 ml de "semillas" por litro.

A las muestras 1 y 2 se les deben hacer las diluciones correspondientes y todas las muestras y el blanco deben contener las cantidades normales de sales nutrientes. Los resultados de las muestras de control deben ser:

Muestras control No	OD
Control No 1	50-300 mg/l
Control No 2	255-10 mg/l

Una reducción en el contenido de oxígeno del blanco de reactivos que excedan 0.7 mg de O₂/l indica que por lo menos uno de los reactivos está contaminado.

Cálculos:

Calculo de la DBO:

Con muestras cuya DBO se determina directamente:

$$\text{DBO, mg/l} = \text{OD inicial} - \text{OD final}$$

Cuando la muestra se somete a dilución se puede usar la siguiente formula:

$$\text{DBO, mg/l} = V \times (\text{ODT} - \text{ODF})/V_m - (\text{ODT} - \text{ODI})$$

ODT = OD final del blanco, mg/l

ODF = OD final de la muestra diluida, mg/l

ODI = OD inicial de la muestra sin diluir, mg/l

V_m = Volumen de la muestra utilizada en el análisis

V = Volumen de la botella Winkler

El factor de dilución es (V/V_m). Cuando haya que hacer tratamiento previo con sulfito de sodio, se debe tener en cuenta el sulfito de sodio añadido, por ejemplo: si a 100 ml de muestra se le adicionan 10 ml de solución de sulfito de sodio, el factor de dilución será: 110: 100=1.10.

En el caso del procedimiento con dilución, si 20 ml de muestra se diluyen a 1000, el factor de dilución global incluyendo el volumen de solución de sulfito.

Anexo B

Ficha técnica del coagulante utilizado

SPARFLOC Coagulante y floculante para clarificación de aguas

SPARFLOC, es un coagulante-floculante líquido de alto rendimiento y eficiencia, para ser empleado en procesos de tratamiento de aguas tanto residuales como para potabilización. Contiene una mezcla de polímeros orgánicos e inorgánicos de alto peso molecular y alta densidad de carga que lo hacen ideal para aplicación en la etapa de clarificación en las plantas de tratamiento de aguas.

Sparfloc es excelente para ser usado en las plantas de recirculación de agua en las empacadoras de banano. Luego de la aplicación de Sparfloc, el agua queda adecuadamente clarificada, libre de partículas de látex y puede ser reutilizada por varias semanas sin generar malos olores.

BENEFICIOS AL USAR SPARFLOC

- Forma floc gruesos y compactos de rápida sedimentación.
- No es afectado por el cloro
- Reduce considerablemente el volumen de lodos en los clarificadores
- Evita el uso de sulfato de aluminio y otros coagulantes contaminantes
- No afecta el pH del agua tratada
- Es fácil de dosificar con exactitud sin generar desperdicio de producto

INSTRUCCIONES DE USO

Sparfloc debe dosificarse de acuerdo al contenido de sólidos suspendidos, caudal de agua y sistema de tratamiento empleado.

Para tratamiento de las aguas residuales del lavado de banano se recomienda comenzar con una solución de 1 parte de Sparfloc por 8 de agua limpia (1 litro de producto en 8 litros de agua), y aplicar por goteo o inyección en la corriente de entrada de agua a la planta de recirculación. Dependiendo del grado de clarificación obtenido, puede aumentar o disminuir la dilución.

Para potabilización de aguas se recomienda aplicar en proporción de 1 parte de producto por cada 2000 partes de agua.

En ambos casos el punto de adición de Sparfloc al sistema de tratamiento debe ser de agitación o turbulencia.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto:	Líquido café claro traslúcido, semiviscoso
Olor:	Característico de los polímeros
pH (Concentrado):	2.0 – 3.0
Densidad:	1.30 – 1.32 g/ml a 24° C
Estabilidad en almacenamiento:	Mínimo 1 año a 24° C / 60 días a 45° C

EMPAQUE

Sparfloc se comercializa en envases de polietileno de alta densidad, en unidades de galón -4 por caja, bidón de 5 y de 15 galones, y tambor económico de 55 galones.

GARANTÍA

Métodos normalizados de producción y control de laboratorio, aseguran una calidad uniforme en cada lote de producto elaborado. Si tiene alguna insatisfacción con el desempeño del producto, no dude en comunicarse con su asesor en Sparcol.

Algunos productos pueden requerir una manipulación especial durante la aplicación. Asegúrese de leer la información técnica y la hoja de datos de seguridad antes de usar el producto.

Anexo C

Fotos Generales



Foto 1. Racimo dirigido hacia el desmane y lavado



Foto 2. Piscina de desmane y lavado del banano



Foto 3. Evacuación agua residual de la piscina

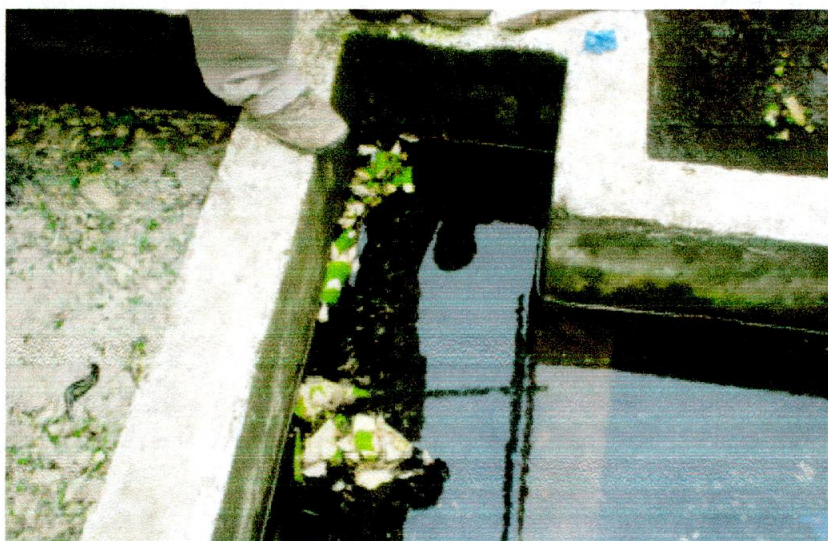


Foto 4. Canal de vertimiento a los cuerpos de agua



Foto 5. Lecho poroso de ½ "



Foto 6. Puesta en marcha del floculador